

平成 29 年度低炭素製品普及に向けた 3R 体制構築支援事業

HV ユニットをリマニュファクチャリング(リマン)した
小型風力発電システムを事業化するための体制構築

報告書

平成 30 年 2 月 28 日

豊田通商株式会社

要約

昨今、自動車の急速なEV化が進んでいる。このままでは、2030年には、半分以上の自動車がEV車となる。車は、一旦市場に販売されると15年前後すると必ず使用済みとなる。EV車になるとこのサイクルが早くなる可能性もある。1997年に世界で初めてトヨタ自動車により販売されたハイブリッド車(以降HV車)は、既に合計で11百万台以上の台数となり順次使用済みとなって廃車市場に出ている。その数は、2017年だけでも約2万台となり、今後益々増加していく事は確実である。

残念ながら、今日に至るまで、このHV車の効率の良い資源循環の仕組みが確立していない。HV車の特徴である、モーター、インバーター、電池は、今後のEV車の基幹部品でもあるが、車がその生命を終えても、各部品として十分にまだその機能を果たす事は、今回の実証でも明白である。これらを有効に効率よく資源循環させる仕組み作りが急務である。

平成28年度より、HV車の基幹15部品をリユースして、小型風車をリマニュファクチャリング(以下、「リマン」という)する実証事業を行っている。昨年度は、机上にてその技術的・経済的事業の実現可能性、及び実現した際の環境負荷低減効果の可能性について検証した。いずれも定量的に高い結果が得られた。これを受けて、本事業では、実機を使ったより精度の高い実証を通じて事業化へ向けての体制構築を行い、環境負荷低減をより確実にするための取り組みを行った。

具体的には、次の4つの項目について取り組んだ。

i) HVユニット回収スキームの高度化と海外展開、ii) 小型風車実証試験による事業化モデルの検証とシステムのブラッシュアップ、iii) 事業化へ向けての体制構築、iv) 出口戦略の構築。

本実証事業報告書は、上記実施内容の詳細に加えて、v) 本事業による環境負荷低減効果

vi) 本事業実現可能性、vii) 今後の見通し、といった構成となっている。

i) では、主に、事業化へ向けて、回収後のリユース仕様実現のための全ての作業が標準化され、原価低減活動も施して、工程設計が完了した。

海外展開では、プリウスが多く販売された米・ロスアンジェルスとモンゴル・ウランバートルで現地調査を行い、それぞれスキームは違っても十分に経済性のある回収が可能である事を検証した。

ii) では、愛知県田原市に設置した実機により実証を行った。性能向上、共振防止のために2度デザインレビューを行い実機の改造を行った。制御アルゴリズムも改善し、結果、目標発電量の6%増である21, 230kWhの年間発電量(風速前提5m/s)を達成した。性能のみならず、騒音等環境への影響評価も行い、最終的に、「風車全体システム仕様書」として取り纏

めを行った。さらに、小型風車市場環境の変化(20kw未満小型風車FITの廃止)に対応するために、3回目のデザインレビューも行い、新風車基本仕様決定まで行えた。最終仕様に対する風車主要各部に対する「荷重計算」「強度検討」も行い、20年の耐久性についても担保した。

iii)では、小型風車発電事業を行う場合に不可欠となる「遠隔監視システムの構築」に取り組んだ。風車を制御しているPLC(制御盤)と直接つながる「通信モジュール」を設置し、汎用性の高い環境を利用、かつ、同時に外部からの侵入を防ぐシステムが実現した。これにより、事業化後に設置する数百基の風車を遠隔にて同時にモニタリングし、さらにリモートできる仕組みが構築された。

次に「サプライチェーンの構築」へも取り組んだ。回収から風車各部品製作、風車組立、設置、保守までの全工程を秋田県庁と連携して県内有力企業に具体的に働きかけた。これにより、地産地消の小型風車事業化へ向けての準備が完了した。又、上記各工程に対して「SE活動」を実施し、工程内全ての作業についてコスト削減策が施され、最終風車製作総コストが、目標に対して、102%達成(660万円/基)となった。これは、同格の他の風車と比較すると3分の1程度である。

iv)では、先ず小型風車の市場ポテンシャルを検証し、量産事業化した際の効果を含めて新FITへの提言(群設置による発電コスト削減を利用したFIT価格の早期低下)を行った。

その後、「FITに依存しないビジネスモデル構築」として、設備導入時の補助金を活用した事業スキームが提案された。最後に、本年度の新たな取り組みとして、小型風車以外へのリユース用途横展可能性の検証を行った。同格の全てのモーター及び発電機を使用する全産業製品分野において幅広くスクリーニングを行った結果、5分野9製品において高い横展ポテンシャルが発掘された。その中でも2分野3製品(EVカート、小型水力発電、小型バイオマス発電)において特にHVユニットとの高い親和性を確認した。

v)では、直接効果として、機能単位をHV車1台、バウンダリーを廃車から風車製作まで(製造段階)とし、リユースする事によるCO₂と天然資源消費量の削減効果を定量的に算出する事で評価した。結果、前者では、0.60t-CO₂/台の削減、後者は、351kg/台となり、環境負荷低減効果を確認した。又、間接効果として、製作された風車による発電プロセス(運用段階)も評価し、結果、風車のライフサイクルとして57.19t-CO₂/台・20年の環境負荷低減効果を確認した。更に、長期的な観点から2030年を想定した環境負荷低減効果を定量的に算出し、累計で、31,597t-CO₂となった。

vi)では、技術的・経済的観点に両面から本事業の実現可能性について検討した。先ず、技術的には、リユースビジネスの宿命であるリユース前での使用環境によるリユース品の品質のバラツキとそれに由来するリユース後の品質の信頼性を評価した。結果、リユース品を構成する全ての部品の中で唯一の有限寿命品であるモーター内の4個のベアリングをリユース時

に交換する事により、品質のバラツキと信頼性の問題を同時に解決できる事が判明した。同時に、ベアリングの使用環境を決定する潤滑油を定期的検査・交換する事により

耐久性も担保できる事が分かり、事業実現可能性を妨げる技術的な問題は全て排除した。

次に経済的な実現可能性について検討した。リユース品は、市場で発生するもので、人為的に生産されるものではないため、安定的な調達の可能性を評価した。結果、過去2年間の実績から数量、価格両面で問題ない事が確認された。事業の実現を左右する、リマンした風車を導入した場合に事業者が得られる電気コストについて検証し、設備導入時の補助金の活用の有無別にケーススタディを行った。結果、風車を導入した事業者のクリーン電力コストが、ケースによっては、10円/kWh以下になり、十分に事業性ある事が確認され、事業実現に向けて経済的に十分勝算がある事が分かった。

最後にvii)において「今後の見通し」について言及した。大きく2つ分けて「風車事業化の最終仕上げ」と「リユースビジネス横展ポテンシャルの深堀」に取り組んで行く事に言及した。

前者では、新風車デザインのコストパフォーマンスの確認と風車を群設置した際の解析により、より現実的なビジネスに近い形で事業性を最終評価する必要がある事に触れた。海外についての深堀やリユース後のリサイクルもパッケージとした仕組み構築への取り組みの必要性についても追記した。

後者では、本実証でHVユニットと高い親和性が確認された2分野3製品について、それぞれ早期事業化へ向けて具体的にどのように実証を行っていくか、机上及び実機での実証方法について示唆した。これら3製品についても本事業同様に、事業化実現の可能性と、実現した際の環境負荷低減効果について検証する必要がある。現在の初期段階の調査では、3製品とも小型風車並かそれ以上の市場ポテンシャルがある事が分かっている。

最後にリユースビジネスの横展を加速させるための「リユースシステムの標準化」に関する提案も行う計画を示した。HVユニットをシステムとしてリユースする。その為にソフトを改造して、HVユニット全体の制御を実現した。同時にメカも改造して、他の全ての製品仕様を満たすべく標準化する。出来上がった「標準モデル」は、ユニットして様々な産業分野で採用が期待できる。リユースによる「資源再生」を柱としたHV車、将来必ず発生するPHV車、EV車に永久につながる「仕組み」の構築は、目の前まで来ている。

Summary

In recent years, the switch to electric vehicles (EVs) has been advancing rapidly. If things continue as they have been, half of all vehicles will be EVs by 2030. Cars inevitably become spent vehicles after about 15 years once they are sold on the market. This cycle may become faster for EVs. Hybrid vehicles (hereinafter, HVs), which Toyota Motor Corporation released for the first time anywhere in the world in 1997, have already reached more than **11** million vehicles in total. They have been coming to the end of their lives in order of age, and are appearing on the scrap vehicle market. They reached some 20,000 vehicles in 2017 alone, and this will definitely increase in the future.

Unfortunately, thus far, an efficient resource circulation system for these HVs has not been established. The motors, inverters and batteries which are the characteristic features of HVs are also core parts for future EVs, and it is also clear in this demonstration that even if a car reaches the end of its life, each of its parts will still maintain its functions. It is urgently necessary to create systems that will make these circulate as resources effectively and efficiently.

Since FY2016, we have been conducting a demonstration project in which we reuse 15 core parts of HVs in order to remanufacture small wind turbines. In the last fiscal year, we verified theoretically the technical/economic feasibility of the project, and the possibility of environmental burden reduction effects once it has been turned into a reality. We achieved quantitatively good results for both. On the basis of this, in this project, we constructed a system aimed at commercialization through more precise demonstrations using prototype equipment, and carried out work in order to make the environmental burden reductions more secure.

Specifically, we worked on the following four items:

i) Making HV unit collection schemes more sophisticated, and expanding them overseas, ii) Verification of commercialization models by means of a demonstration experiment for small wind turbines, and brushing-up of the system, iii) Construction of a system aimed at commercialization, and iv) Variation of exit strategies.

In addition to details regarding the above implementation content, this demonstration project report consists of: v) Environmental burden reduction effects resulting from this project, vi) The feasibility of this project, and vii) Future prospects.

For i), we standardized all of the work for achieving the specifications for reuse after collection, implemented cost reduction activities, and completed the process design, with the aim of commercialization.

For overseas expansion, we implemented on-site surveys in Los Angeles in the US and Ulaanbaatar in Mongolia, where many Priuses have been sold, and verified that sufficiently economical collection will be possible, even if the schemes are different.

For ii), we conducted a demonstration using prototype equipment installed in Tahara City, Aichi Prefecture. We reviewed the basic design twice in order to improve performance and prevent resonance, and modified the prototype equipment. We also improved the control algorithms. As a result, we achieved an annual power generation amount of 21,230 kWh (using an assumed average wind velocity of 5 m/s), which was a 6% increase on the target power generation amount. We not only evaluated performance, but also the effects on the

environment (such as noise), then finally, we summarized everything as “wind turbine overall system specifications.” In addition, in order to respond to a change in the small wind turbine market environment (the abolition of the FIT for small wind turbines of less than 20 kW), we conducted a third design review and were able to decide on the basic specifications for new turbines. We also conducted “load calculations” and “strength evaluation” for each of the main sections of the wind turbines in accordance with the final specifications, and managed to secure a durability of 20 years.

For iii), we worked on “construction of a remote monitoring system,” which will be essential when running a small wind turbine power generation business. We installed “communication modules” that directly connect to the PLCs (control panels) that control the wind turbines, and achieved a system that uses a normal public environment, and will at the same time be secured from outside.

As a result of this, we constructed a system that will simultaneously remotely monitor hundreds of wind turbines installed after commercialization, and furthermore, will be able to control them remotely.

Next, we also worked on “construction of supply chains.” In cooperation with the Akita Prefectural Office, we made concrete approaches to prominent companies in the prefecture with regard to all of the processes, from collection, to manufacturing of each of the parts for the wind turbines, to assembly, installation maintenance of the wind turbines. As a result of this, the preparations for the commercialization of “local production for local consumption” small wind turbines were completed. We also conducted “SE activities” for each of the processes above. Cost reduction measures were performed with regard to all of the work in the processes, and the final total wind turbine manufacturing cost achieved was 102% in relation to the target (6.6 million yen/turbine). This is about one-third compared with other wind turbines of the same rank.

For iv), first, we verified the market potential of small wind turbines, and then offered proposals for a new FIT, including the effects in the event of mass-production commercialization (early lowering of FIT price using reduction of power generation costs resulting from group installation).

After that, as “construction of a business model that does not rely on FIT,” a project scheme was proposed that uses subsidies when the equipment is installed. Finally, we verified the possibility of lateral expansion of reuse applications to areas other than small wind turbines, as a new activity for this fiscal year. As a result of conducting wide-ranging screening with regard to all industrial product fields that use all of the motors and generators of the same rank, we found high potential for lateral expansion with regard to nine products in five fields. We confirmed that among these, three products in two fields (EV carts, small-scale hydroelectric power generation, and small-scale biomass power generation) showed a high affinity with HV units in particular.

For v), we carried out an evaluation by quantitatively calculating, as direct effects, the CO₂ and natural resource consumption reduction effects that would result from reuse, taking the functional unit to be onEHV car and the boundary to be from spent car to wind turbine production (manufacturing stage). As a result, we confirmed an environmental burden reduction effect of 0.60 t-CO₂/unit for the former and 351 kg/unit for the latter. As an indirect effect, we evaluated the processes of power generation by means of manufactured wind turbines (operation stage), and as a result, confirmed an environmental burden reduction

effect of 57.19 t-CO₂/unit over 20 years as a life cycle for the wind turbines. In addition, we quantitatively calculated the environmental burden reduction effects from a long-term perspective, thinking in terms of 2030, and the cumulative total came to 31,597 t-CO₂.

For vi), we considered the feasibility of this project in terms of both the technical and economic aspects. First, for the technical aspects, we evaluated the variations in quality of reused products depending on the use environment before reuse and the resulting reliability of quality after reuse, which reuse businesses are destined to face. As a result, we found that the variations and reliability problems regarding quality can be solved simultaneously by replacing, when reusing, four of the bearings in the motors, which are the only parts with a finite service life among all of the parts that comprise the reused products. At the same time, we found that durability can be secured by periodically inspecting and replacing the lubricant, which determines the use environment of bearings, so all of the technical problems standing in the way of the possibility commercialization were eliminated.

Next, we considered economic feasibility. Since reused products arise from the market and are not produced artificially, we evaluated the possibility of stable procurement. As a result, on the basis of the actual performance for the past two years, it was confirmed that there will be no problems in terms of either quantity or price. We verified matters regarding the electricity costs that operators will be able to attain if they introduce the remanufactured wind turbines, which will affect whether the business becomes a reality, and conducted separate case studies according to whether or not subsidies are used when the equipment is introduced. As a result, it was confirmed that in some cases, the green power costs for operators who have introduced the wind turbines could be 10 yen/kWh or less, meaning that it would be sufficiently profitable, and we were able to ascertain that there are sufficient prospects of success in economic terms for aiming for project realization.

Finally, for vii), we talked about "future prospects." We mentioned that we will broadly divide the work into two areas: "finalization for wind turbine commercialization" and "developing the potential of lateral expansion of reuse businesses."

For the former, we touched upon the necessity of conducting a final evaluation of profitability in a form similar to more realistic businesses, by checking the cost performance of a new wind turbine design and analyzing cases where group installation of wind turbines is carried out. We also mentioned the necessity of working toward construction of systems that package together both development with regard to overseas and recycling after reuse.

For the latter, we suggested how demonstrations should be conducted concretely with a view toward speedy commercialization and methods for theoretical demonstrations and demonstrations using actual equipment, for each of the three products in two fields that were confirmed in this demonstration to have high affinity with HV units. For these three products as well, it will be necessary to verify the possibility of achieving commercialization and the environmental burden reduction effects once it has been achieved, in a similar way as in this project. Through the current initial-stage investigation, we have found that all of the three products have a market potential that is greater than or equal to that of small wind turbines.

Finally, we indicated a plan for making a proposal regarding a "standardization of reuse systems" for accelerating lateral expansion of reuse businesses. HV units will be reused as systems. In order to do that, we modified software and achieved control of the HV units as a whole. At the same time, we will also make mechanical modifications, and carry out standardization in order to fulfill all of the other product specifications. It can be anticipated

that the “standard models” that have been completed will be adopted as units in a wide range of industrial fields. The construction of “systems” that will be permanently connected to HVs, PHVs and EVs (which will inevitably happen in the future), and have “resource recovery” through reuse as a pillar, is close at hand.

事業実施体制

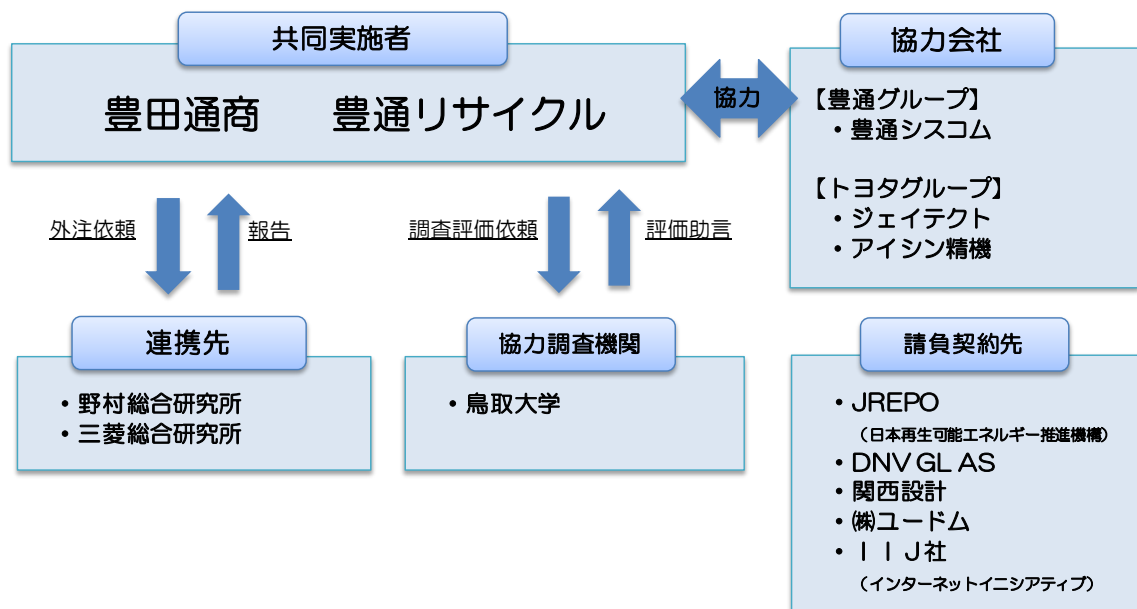
山岸 直人	豊田通商株式会社 金属資源第一部 部長職
田淵 洋一	豊田通商株式会社 金属資源第一部 グループリーダー
平位 和哉	豊田通商株式会社 金属資源第一部 主任
下迫 智美	豊田通商株式会社 金属資源第一部

(共同実施者)

川端 康己	豊通リサイクル株式会社
長尾 純一	豊通リサイクル株式会社
岡田 広之	豊通リサイクル株式会社

(協力者)

株式会社ジェイテクト	トヨタグループ
アイシン精機株式会社	トヨタグループ
株式会社豊通シスコム	
国立大学法人鳥取大学	
株式会社野村総合研究所	
株式会社三菱総合研究所	



目 次

要約/ Summary

事業実施体制

I. 背景と目的	3
II. 実証事業の概要	4
II-1. 全体概要	4
II-2. 各実施事項	4
III. HV ユニット回収スキームの高度化と海外展開	6
III-1. 全体工程	6
III-2. 回収高度化	9
III-3. 各工程作業要領書の作成	12
III-4. ブレーキの改造	38
IV. 海外での回収スキーム	44
IV-1. 米・ロサンゼルス	44
IV-2. モンゴル・ウランバートル	47
IV-3. 課題と今後の見通し	50
V. 小型風車実証試験による事業化モデルの構築とシステムのブラッシュアップ	51
V-1. アルゴリズム開発	51
V-2. 性能アップ	53
V-3. デザインレビュー	64
V-4. 荷重計算	70
V-5. 強度検討	75
V-6. 共振検討	86
V-7. システム全体仕様書	92
V-8. 認証相当試験	109
VI. 事業化へ向けての体制構築	113
VI-1. 遠隔監視システムの構築	113
VI-2. サプライチェーンの構築	121
VI-3. SE 活動	123
VII. 出口戦略の構築	132
VII-1. FITを利用したビジネスモデルの構築(フェーズ 1)	132
VII-2. FITに依存しないビジネスモデル構築(フェーズ 2)	158
VII-3. HV ユニットリユース横展開可能性調査	168
VIII. 環境改善効果の評価結果	178
VIII-1. CO2 削減効果(HV システムのリユース)	178

VIII-2.	天然資源消費量(HV システムのリユース)	194
VIII-3.	その他の環境負荷低減効果	196
IX.	事業実現可能性評価	202
IX-1.	技術的実現性	202
IX-2.	経済的実現性	208
IX-3.	環境適合性	213
IX-4.	市場規模と回収対象発生量との妥当性	214
IX-5.	2030 年までの事業全体での環境負荷低減効果	217
X.	今後の見通し	220
X-1.	風車事業化へ向けての最終仕上げ	220
X-2.	風車以外への横展ポテンシャル深堀	222

I. 背景と目的

ハイブリッド自動車（以下 HV 車）基幹ユニット（以下 HV ユニット）は、駆動装置としての性能に極めて優れ、また耐久性等の面で高い品質を備えていることから、自動車車両の寿命を大きく超えてリユース部品として利用可能である。しかし、高度に電子化、暗号化されていること等からリユースを困難にしていた。

また、再生可能エネルギーの中でも小型風車は、電力固定価格買取制度（FIT）で高い買取価格が設定されているにも関わらず、設備コストの高さが障害となって十分普及していない。

平成 28 年度実証事業において、今までにない、全く新しい取組として、HV 廃車の主要部品をユニットとして小型風力発電システム（小型風車）へリユースするための「仕組み」を構築した。

HV ユニットは、駆動装置としての性能に極めて優れていることから、自動車としての寿命を遥かに超えてリユースが可能である。しかし、高度に電子化、暗号化されていることからリユースを困難にしていた。平成 28 年度は、製造元であるトヨタ自動車（株）の絶大な協力を得て、この技術的問題を解決し、経済性についても十分成立する「仕組み」が実証事業を通じて検証された。

一方、再生可能エネルギーの中で、高い F I T 価格（55 円/kWh）にも係わらず、導入コストが高い事により普及していない「小型風車」を、リユース品と車載部品の活用により、コストパフォーマンスが高い純国産風車製作が可能であることが平成 28 年度実証事業にて確認された。

本事業では、この「仕組み」を使って、事業化するための体制構築を目的としている。

事業化には、「性能」「コスト」「耐久性」について量産ベースで「技術的」「経済的」に成立する事が必要条件となる。さらに、事業スキーム、市場の存在が十分条件となる。

このために、本事業では、「仕組み」の高度化、海外展開、風力発電実機によるシステム全体の検証、量産工程や事業スキームの構築を課題として設定した。

これらの課題を解決する事により、上記必要十分条件が満足される事になり、事業化が実現すれば、世界初の「低炭素製品リマン事業」として新たなビジネスモデルが出来上がり、画期的である。低炭素製品である HV 車が、その寿命を終えた後に、やはり低炭素製品である小型風車に生まれ変わり、さらにその性能の良さにより風車が普及して行く事は、大変意義深いと考える。

さらに、この仕組みが、HV 車から風車へのリマンに止まらず、他用途への横展ポテンシャルについても検討し、将来同じ課題として必ず登場する PHV 車、EV 車への取組みにも十分に応用できる可能性も次の課題として本事業で考察する。

II. 実証事業の概要

II-1. 全体概要

本実証事業では、大きく分けて以下4事項について実証を行い、これらを踏まえて環境省負荷低減効果の検証、又、事業実現可能性等の検証を行った。

- ・ HVユニット回収スキームの高度化と海外展開
- ・ 小型風車実証試験による事業化 モデルの検証とシステムのブラッシュアップ
- ・ 事業化へ向けての体制整備
- ・ 出口戦略の構築

II-2. 各実施事項

1 HV ユニット回収スキームの高度化と海外展開

平成28年度事業において、個々に実証した、HVユニットの風車仕様へのリユースの仕組みを事業化（量産化）を想定して再評価する。特に、モーターの性能・寿命を握るベアリングの交換、バッテリーのモジュール毎の抵抗値測定等機能強化、原価低減活動を共同事業者である豊通りサイクルを中心に行う。又、米、英、モンゴルの大手回収業者を訪問し、マニュアル（英訳済）を使った回収実証試験を行い、海外での回収に係わる技術的な課題や経済性を把握する。

2 小型風車実証試験による事業化 モデルの検証とシステムのブラッシュアップ

小型風車実機を用いて、発電性能最大化のためのアルゴリズム開発（ジェイテクト、鳥取大）、信頼性・性能を評価するための解析（DNV・GL）、システム全体へのSE活動（アイシン精機）をそれぞれ実証し、システムのブラッシュアップを行う。最後に、出来上がった全体システム設計仕様書を設計コンサル（関西設計）と連携して作成する。この仕様書を前提として、風車型式認証を取得するための実証試験をJREPO（一般社団法人日本再生可能エネルギー推進機構）に委託して行い、事業化への技術的な備えを万全とする。又、同クラスの風車との比較・検証もする。

3 事業化へ向けての体制整備

保守・メンテナンス体制構築へ向けて、風車の遠隔監視システムの構築を豊通シスコムによって行う。又、点検マニュアルの作成、実機のHVユニット交換作業等も豊通リサイクルにより実証し、その技術的・経済的課題について検証する。

4 出口戦略の構築

出口戦略としては、小型風車ウィンドファーム構想をにらんだ「ビジネスモデルの構築」を行い、モデルにおける事業リスクや経済性を検証する。さらに、事業スキームについても検討し、具体的にスキームを創出し、評価を行う。これらの実証を風力発電事業に精緻したユーラスエネジーや野村総研と連携して進める。

小型風車の市場ポテンシャルについてもトヨタ自動車各工場やJ R東日本、J R北海道等とも連携し、事業化を前提とした市場調査を行い、小型風車が普及するための条件（風況、価格、保守・メンテナンス性等）を精査する。

III. HV ユニット回収スキームの高度化と海外展開

本章では、昨年度に構築した「HVユニット国内回収スキーム」をさらに発展させるために事業化へ向けて、回収後のリユースに向けての仕様改造工程作りを行った。

工程づくりには、本事業で対象としている2世代プリウスを使用した行った。

基本理念は、環境に優れたHVシステムをリユースするため生産性を上げるべく、無駄をなくしてエネルギー消費を低減しモノづくりをする効率の良い工程づくりをする事である。そのために、「安全に」、「正しく」、「正確に」、「やりやすく」作業者に優しい職場を作りしていくことである。

III-1. 全体工程

1 環境整備

発電設備を製作するにふさわしい環境整備を行った。

当初、設置された場所は粉塵が多く精密機器を分解組む付けするのに不適合であった。このため、作業場の大きさは横8m奥行7mに室内用のビニールテントを設置し、この中に外気を取り入れ、人の出入りで持ち込まれる異物の侵入を低減し、クリーン化を確立した。（図表 1）

図表 1 工程づくり作業場(防塵膜設置)



照明も天井ができたために照度不足になったため作業場にLED 照明を設置、電力の無駄も低減した。

重量物の扱いに対しては、作業台に簡易のホイストを設置、総組には移動式クレーンで対応することで進める事にした。

良い環境を維持するため、作業者は4Sに心がけ、作業終了で業務が終わるのではなく、4Sしてから終わるとする基本理念を導入。翌日の作業スタートがスムーズに出来る事も意識した。

2 作業レイアウトの構築

作業者二人を前提に、作業者の配置を考え、人と車両との接触による事故を防止するため車両は進入禁止とした。又、作業者の歩行をできる限り低減することで無駄な動きを減らすレイアウトを目指した。

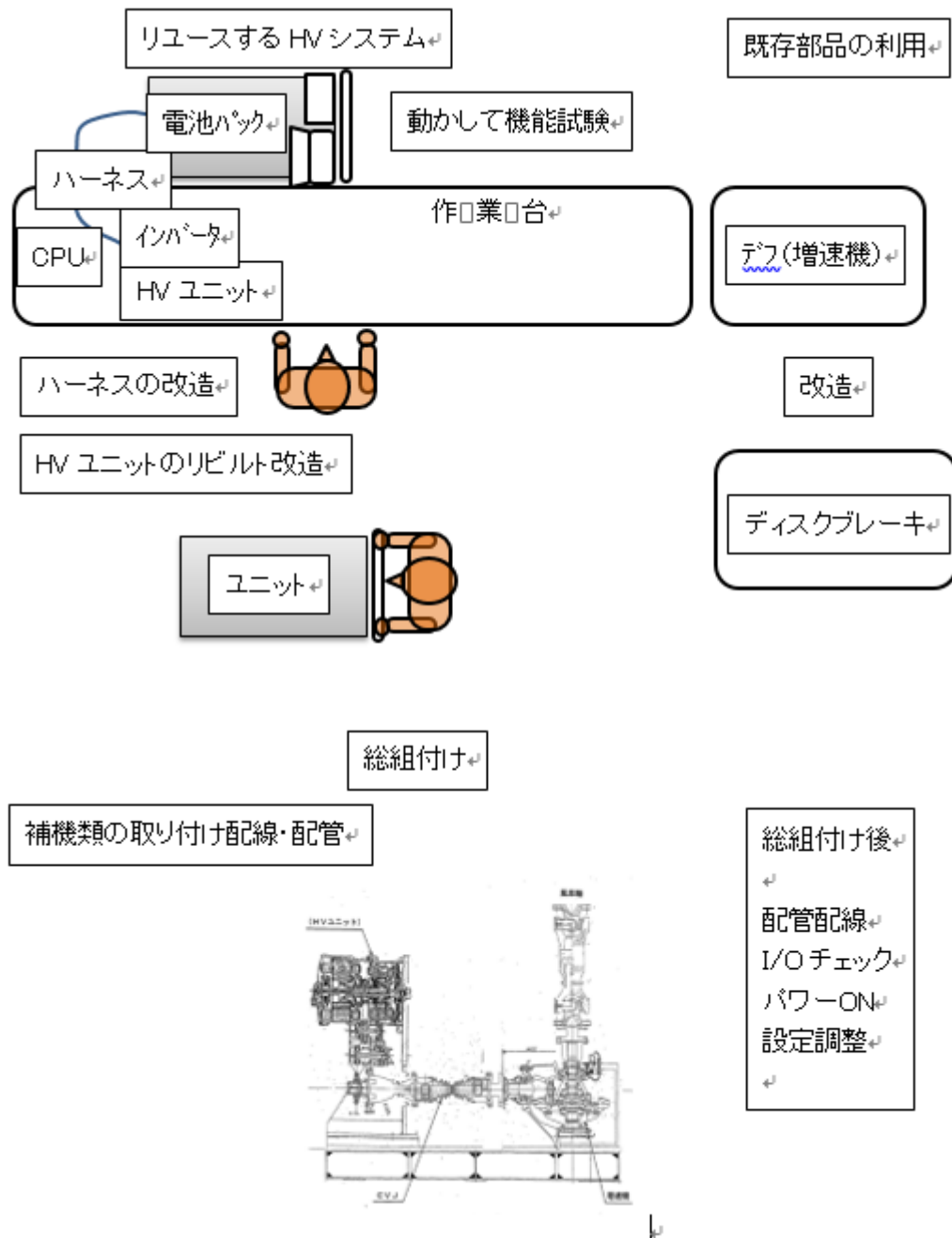
レイアウト構築にあたって、まずは、作業内容について整理した。

作業は、大きく分けると次の通りとなる。

- ① HVユニット受け入れ
- ② HVユニット分解
- ③ HVユニット改造
- ④ HVユニット組み付け
- ⑤ 機能検査
- ⑥ 増速機改造
- ⑦ ブレーキ改造
- ⑧ 全体総組み付け

上記作業を基本理念が達成できるように、図表 2に示すレイアウトを構築した。

図表 2 作業レイアウト図



III-2. 回収高度化

1 HV ユニットのリユース仕様への改造作業

ハーネス（図表 3）の改造は、次の工程で行われる。

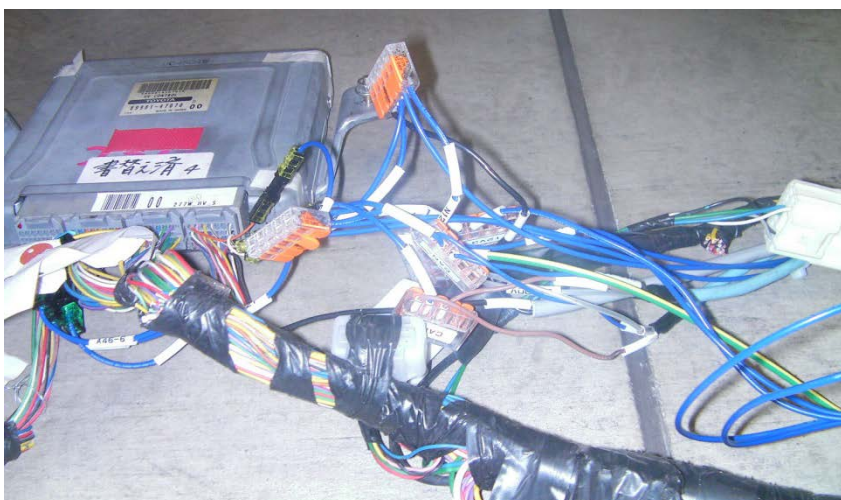
- ① 回収されたハーネスからリユースされる部分の導通テストを行う
- ② 昨年度、準備した回収マニュアルに沿って、コネクタの形を確認する
- ③ 端子の並びを確認する
- ④ 数を数えて再度導通チェックを行う

図表 3 回収後のハーネス



上記工程によりリユース仕様に改造したハーネスが図表 4となる。

図表 4 リビルトしたハーネス



回収されたハーネスは不要なハーネスが多く含まれるため、不要部分は切断し、銅資源としてリサイクルする。

今後はこの課題は、次の通り。

- ① CPUを端子箱に収納する
- ② この端子箱に端子台を設け追加した電源と通信の中堅端子とする
- ③ 導通テストは省略して、改造後機能検査で使い一緒にテストする案を検討する。
- ④ 切断された切り口の処理を分解し処理方法を決定する

2 HV システムの機能検査

リユースされるHVシステムの性能が維持されているか判断するため専用のテストベンチ（図表 5、図表 6）を使いデータを収集し機能検査を行う。

図表 5 テストベンチ1



図表 6 テストベンチ2



3 電池パックの測定

4 想定準備と測定方法の改善

インピーダンスアナライザーを使って電池パック内部のモジュール単位にインピーダンス測定し良否の判別をする。

1回で7モジュールまで測定でき、28モジュールあるので、4回繰り返し測定が必要となり、当初電池パック1台で測定に75分/一人くらい要した。

従って、次の改善を行った。

- ① 電池パックを測定台車に載せて作業姿勢楽にする
- ② 電池パックの吊り治具を製作し一人作業にする
- ③ バイポーラ電源を供給する
- ④ フォーク端子アダプタU端子一つに差し込める専用のフォーク端子アダプタを製作
- ⑤ 絡んでしまうリード線とアッテネータをアッテネータはブラケットに収める
- ⑥ リード線は先端部を裾絆に引っ掛けられるようにする。

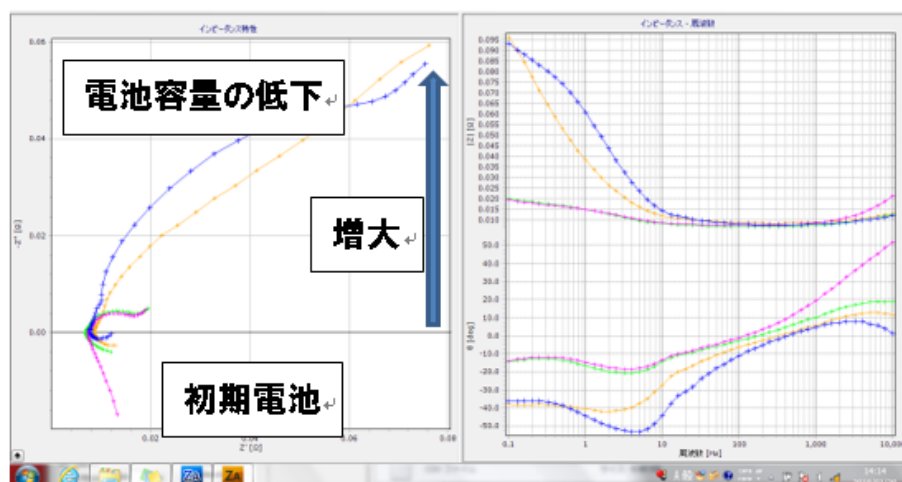
5 電池パックの良否判定

インピーダンスアナライザーで得たデータを比較し判定する。

1モジュールの電圧が基準値は7.2Vでこの値を下回るとNG

まずは、電圧を測定し、一次スクリーニングで簡単な良否判断を行う。

図表 7 インピーダンス測定グラフによる判定



各モジュール負極のインピーダンスを測定すると図表 7となる。劣化が激しい程、図表 7にあるように抵抗が増大していく。

今後の課題としては、抵抗値の増加程度と劣化程度との整合性を確認して、抵抗値による良否判断の仕組み作りを行う必要がある。

III-3. 各工程作業要領書の作成

本項では、事業化時の作業基準となる「作業要領書」を全ての工程に対して作成した。

各工程について作業を標準化し、その内容を確認の上、作業手順を要領書としてまとめる。各要領書とも、手順、急所（ある場合のみ）、理由（必要に応じて）といった構成となっている。

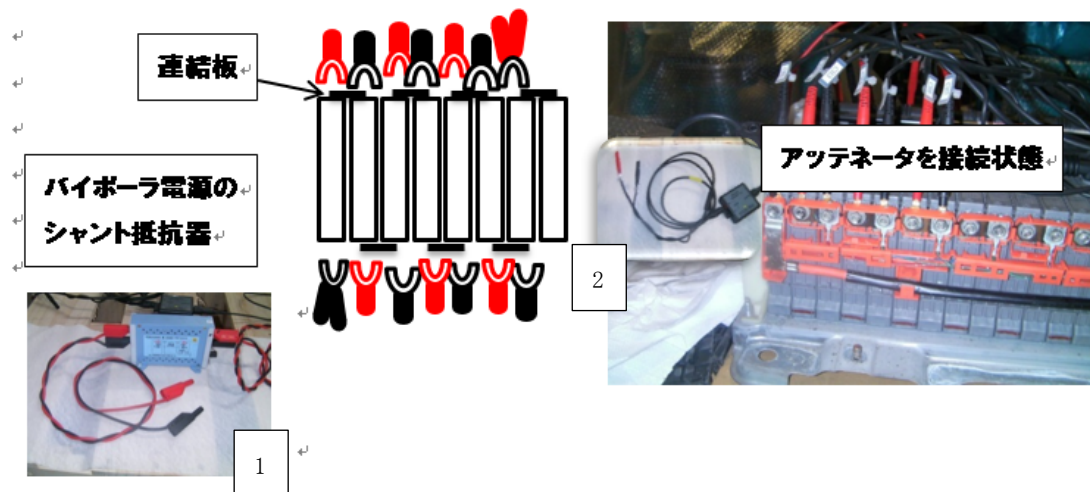
[要領書]-1 HV システム機能試験作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	HVシステムをセットし配線の接続し、電池パックの安全ヒューズを挿入する	差し込み不良がない事	
2	HVシステムのCPUを立ち上げるため12Vの電源を入れる		
3	続いて制御盤の電源を入れる		
4	専用のパソコンを立ち上げ制御盤と専用のコードで接続する		
5	タッチパネルの検査開始にタッチすると検査中の表示になる	HVシステムよりリレーの音を3回発し数秒間2回モーターが回る	
6	OKの表示が出れば検査は終了	OK・NGをタッチすると検査開始に表示が変わる	
7	データ確認をタッチすると電流・回転数などの表示画面に変わる		
8	データはパソコンより取り出しフォーマットに沿って記録する		
9	すべての電源をOFFにし電池パックのセーフティプラグを抜く		
10	コネクタすべてを外して終了	リード線を持って引かない事	断線障害

[要領書]-2 電池パック接続作業要領書 電池編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	電池パックを測定台車に載せる	ゴム手袋と保護メガネを装着	災害防止
2	安全ヒューズが外れていることを確認		
3	金属カバーを外す		
4	モジュール電池のカバーを外す	小さめのマイナスドライバーで引っ掛かりを外すと便利	ショート防止
5	電池パック1台に28モジュールあるため4回測定		
6	1回目は端から7モジュールのボルトと2個先のナットも緩める	連結板と端子カバーに押されて端子が入らない	
7	プラスに赤のU端子(フォーク端子アダプタ)を取り付け マイナスに黒のU端子を取り付け		
8	アッテネータの他にバイポーラ電源を接続するため端子がダブルになっているものを使う	ナットを締めたら端子が動かないか確認	
9	写真1のアッテネータを1CHから順に同じ色同士7CHまで接続(差し込み)	間違えない様ラベルを確認	
10	写真2のシャント抵抗器を1CHに黒プラグ(マイナス)7CHに赤のプラグ(プラス)をそれぞれ挿入		
11	再度端子に緩みがないか確認	緩みがあるとインピーダンス特性に誤差が出る	
12	パソコンとインピーダンスアナライザをUSBリード線で接続しますUSBのライセンスキーも挿入		

図表 8 電池パック接続補足図



[要領書]-3 電池パックの測定作業要領書 電池編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	インピーダンスアナライザとパソコンの電源を投入		
2	ライセンスキーをUSB端子に差す		
3	 パソコン画面のINPEDANCE ANALYZERをダブルクリック	通信異常が出る場合は初めからやり直す	
4	測定コントロール画面の『OCV測定のみ……』をクリック		
5	測定コントロール画面の 測定開始 をクリック	電圧電流モニタに電圧が表示	
6	測定終了をクリックし再度『OCV測定のみ……』をクリック消す	この測定データをプリントスキャンし保存する	
7	バイポーラ電源装置のスイッチを入れる		
8	黄色ボタンのOUTPUTスイッチを押下すると青い画面の左上部に7直列の総電圧52V前後を表示	50～55Vから外れている場合はバイポーラ電源のスイッチを切る	
9		シャント抵抗器の接続位置・差し込みを確認	
10	パソコン画面の 測定開始 をクリック	測定に数分をかける	
11		表示されるインピーダンス特性図が異常だった場合は測定停止する	
12		すべて電源を遮断し最初から順に立ち上げ測定する	
13	測定が終了すると測定終了のダイアログボックスが出る		

[要領書]-4 CSVデータのグラフ化作業要領書 電池編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	測定したファイルの一つを開く	CSVファイルがエクセルで開く	
2	Z_real(ohm)とZ_img(ohm)列をすべて選択しコピーをクリック		
3	Sheet2に貼り付ける		
4	2行目以下すべてを選択し右クリックする	データ値のみ	
5	セル書式設定をクリック		
6	表示形式をクリック文字列をクリック	CSVファイルが普通の数字に変更された	
7	データのすべてを選択		
8	上のツールバーの挿入をクリックグラフの散布図をクリック	グラフが空欄に表示	
9	グラフの縦軸の数字を右クリック		
10	軸の書式設定をクリック軸を反転するにレ点を入れる		
11	横軸との交点の軸の値0.0を0.006Iに書き換える		
12	次に横軸の数字を右クリックし軸の書式設定をクリック		
13	軸ラベルを軸の下／左から上端／右端を選択		

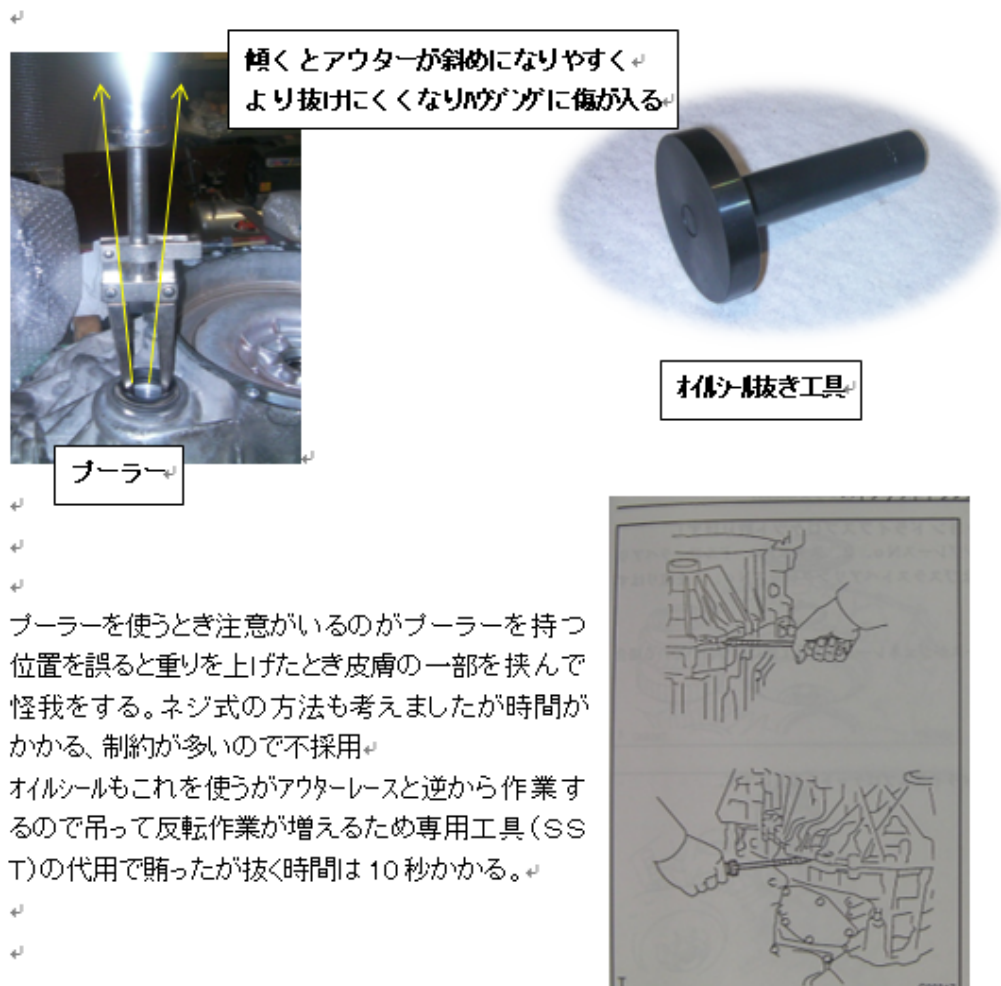
[要領書]-5 HV ユニット分解作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	ラチェットハンドル・コンビネーションスパナ・インパクトレンチ・マイナスドライバ・スクレーパを準備する		
2	上部ボルト13本下部からのボルト5本合計21本外す	ネジロックがついているのでインパクトレンチを使うと早い	
3	吊り金具を取り付け1本のワイヤーを吊り具に通し水平になるようバランスを取る	傾斜が大きいとインロー部が食いつき外れにくい	
4	ホイストのフックにワイヤーを取り付けインテングで上昇しチェーンを張る	決して吊り上げしない 張ったら非常停止ボタンを押しておく	
5	合わせ面はシールボンドでくっついているため2か所をドライバかスクレーパで押し上げ合わせ面を浮かせる	工具を無理に中へ入れない ⇒合わせ面に傷が入る	
6	ホイスト操作でインテング操作し隙間が2・3mmできるまで慎重に上げる	チェックするときは非常停止する	
7	シール全体が剥がれたのを確認し、剥がれてない時はコンポーテンを使ったり揺らして剥がす		
8	全体に隙間が確認出来れば水平を保ちインテングで上昇する。はめ合いが抜けるまでは慎重に進める	20mm位の隙間まで決して急がず全体を見ながら行う	
9	一端キレイなウエスの上に置き反転用の吊り具を取り付ける		
10	再度吊り上げ反転し治具の上に置く		
11	フックからワイヤーを外しホイストをじゃまにならない所に移動	ホイストの非常停止を忘れない	

[要領書]-6 ジェネレータ Assy 分解作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	角部が鋭利な部分が多い為、危険と思うところはテープで養生する	手袋は着用する	災害防止
2	SST-A1をテーパードベアリングのアウトレースの下の窪みにセットする(SST-A1の要領書参照)	フックをむやみに広げるとケースに傷がつく	組付け不良
3	ブーラー(SST-A1)の重りを垂直に上げアウトレースが傾かないよう抜く	手の位置に注意する 重りの引く力は圧入の硬さで手加減する	災害防止
4	アウトレースが傾斜したらブーラーを外し、アウトレースの出過ぎた所をハンマーとポンチで叩いて水平にする		
5	ブーラーを再びセットし真上に重りを上げ抜く	力みすぎずに重りを上げる	
6	オイルシールをSST-A2を使いハンマーで叩き抜く		

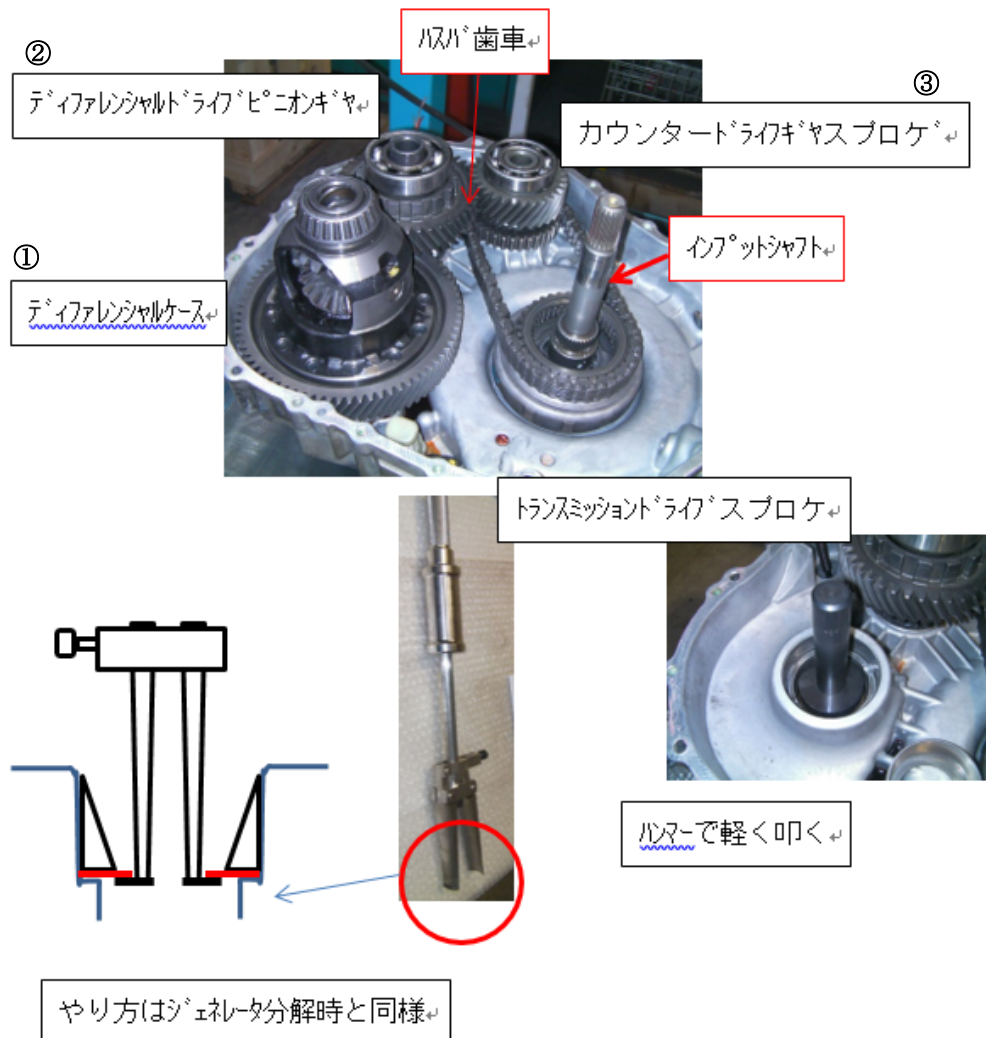
図表 9 ジェネレータAssy分解補足図



[要領書]-7 モーターAssy 分解作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	①のケースを上げながら②のドライブピニオンを歯型に沿って回し真っ直ぐ上げ外す	はめあいが斜めにならないように注意する	オイルで滑る
2	途中ドライブピニオンが食いついてしまったら、コンポーテンでドライブピニオン周辺を軽く叩き修正する	修正すると元に戻るため始めからとなる	
3	①ディファレンシャルケースもほぼ同時に抜けるので落とさないように取り外す	紙ウエスを敷きオイルの流れ出しを防ぐ不純物の付着防止	組付け不良
4	トランスミッションドライブスプロケ・チェーンおよびドライブスプロケと一緒に取り外す	真上にあげるのが重要で下に紙ウエス等を敷き置く	
5	ディファレンシャルケースのテーパローッドベアリングのアウトをSST-A1を使ってモータケースから外す	重りを上げた際指を詰めない様持ち方に注意	災害防止
6	アウトの下にあるオイルシールをSST-A2とハンマーで叩いて抜く	手加減して叩く	一気に抜ける時がある

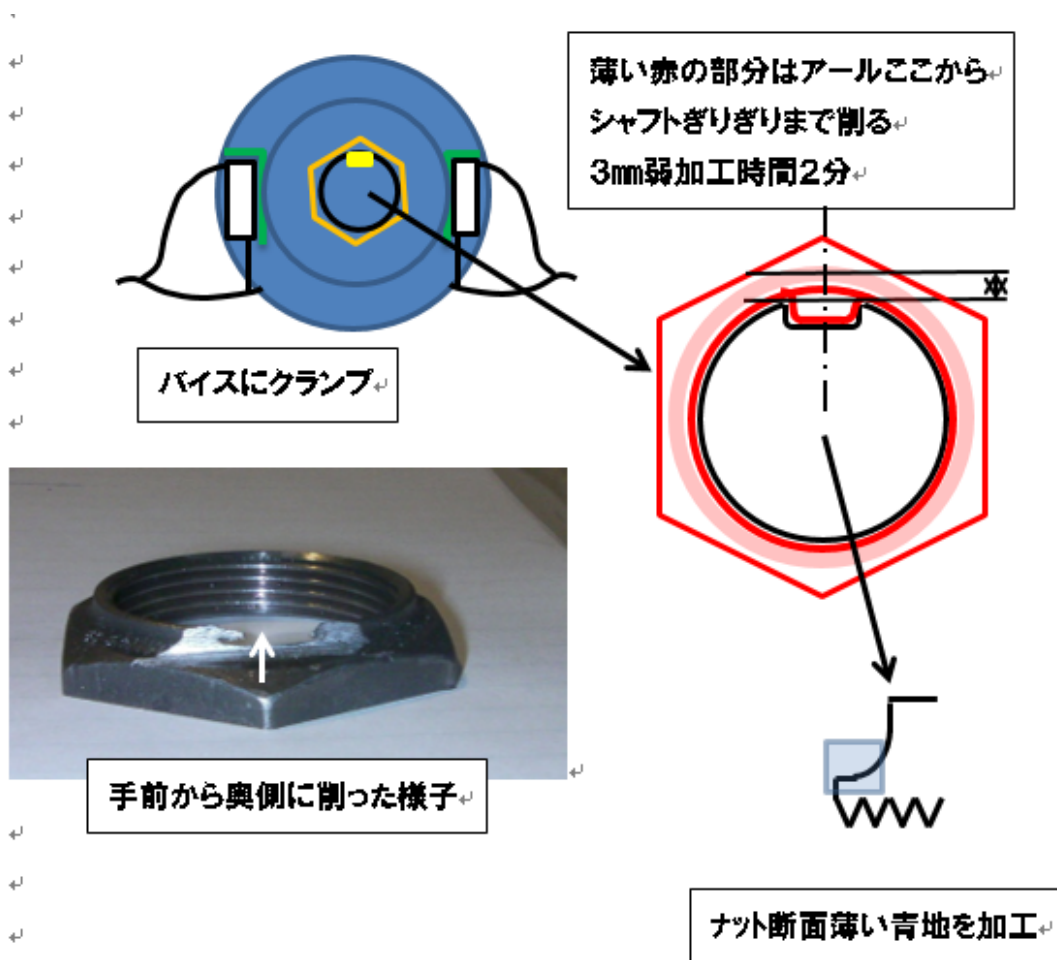
図表 10 モーターAssy分解補足図



[要領書]-8 41 mmナット外し作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	ヤスリ・改造たがね・ハンマー・41mmコンビスパナ・バイス台・アルミ板(当て物)を準備する		
2	バイス台にアルミ板を介しピニオン部をナットが横に向くように挟み込む	アルミ板を使いワークを保護する	破損の恐れ
3	写真のようにシャフトのネジ部トップぎりぎりまでヤスリで削り落とす	シャフトに対し平行にヤスリを置く斜めにならないように注意	ねじ山を削る
4	改造たがねを使用してハンマーで軽く食い込ませるように叩きカシメ部を取り除く	浮き上がらない時はヤスリで削り込む斜めでないか確認	
5	カシメが取れたらナットを下にしてピニオン部分をしっかり挟む		
6	コンビネーションスパナ41mmのメガネ側を使いナットを緩める	スパナにパイプを挿入して軽く回す	災害防止

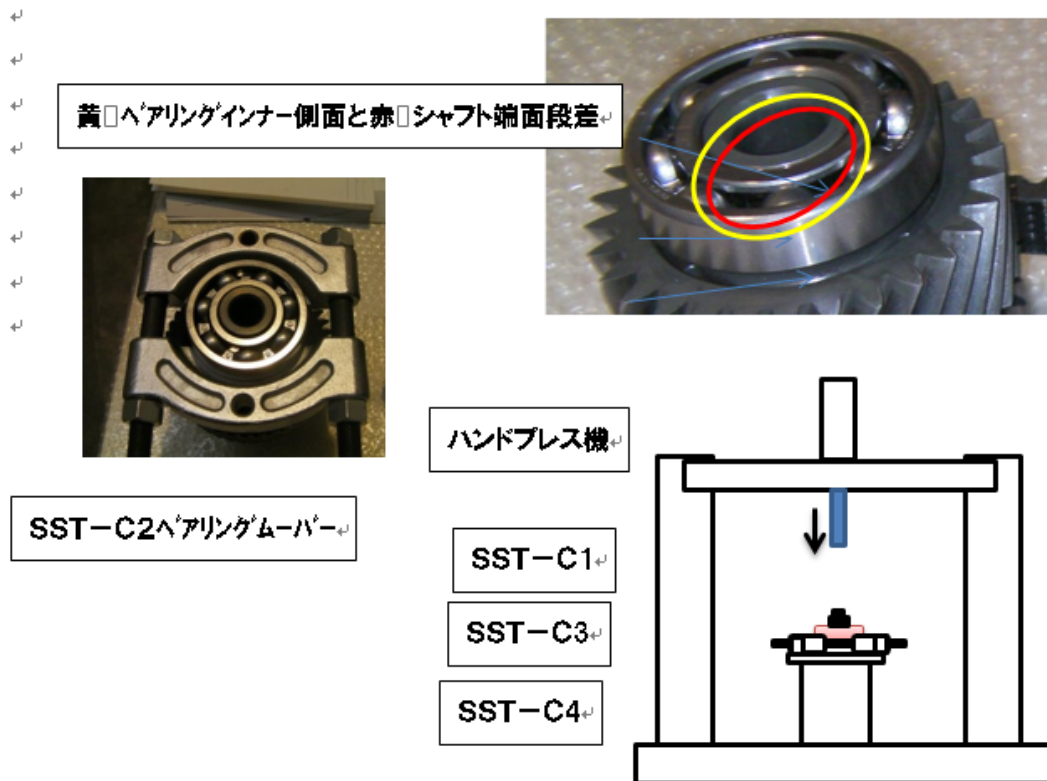
図表 11 ナット外し補足図



[要領書]-9 ベアリング外し作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	カウンターギヤとディファレンシャルギヤのシャフト端面とベアリングインナー端面の段差をノギスで測定しておく	安定した場所と3回測定する 測定値を記入	組間違い防止
2	取り外すベアリングとギヤの間にムーバーを入れナットを平行に締めていきスパナで軽く増し締めする		
3	プレスにカイモノ(SST-C4)を置きギヤの大きさに合わせアダプタプレート(SST-C3)をカイモノの上に置く	カイモノの底にエアークッションを置く	落下の衝撃吸収
4	続いてムーバーを取り付けたギヤを置く		
5	シャフトの上にシャフトを抜くSST-C1を置く	SST-C1以外を使用するときは干渉に注意	
6	油圧ポンプのバルブを閉じハンドルを上下しSST-C1までロッドを下げる	ロッドがSSTの中心にあるか確認する	災害防止
7	シャフトに圧力を掛けていきシャフトを下へ押し下げる	圧力計が5Mp以上は中止し物が正しい位置にあるか確認	災害防止
8	途中バルブを緩めロッドを上げシャフトの傾きがないかノギスを使って確認	圧力上昇がなく安定し抜けていればそのまま続行してよい	
9	良好ならばセットしバルブを閉じハンドル操作により抜いていく	抜け際はゆっくり操作する事	シャフトの衝撃
10	ベアリングが抜けた後シャフトに縦傷等がないか確認するまた汚れも拭き取る		
11	他も同様に実施する		

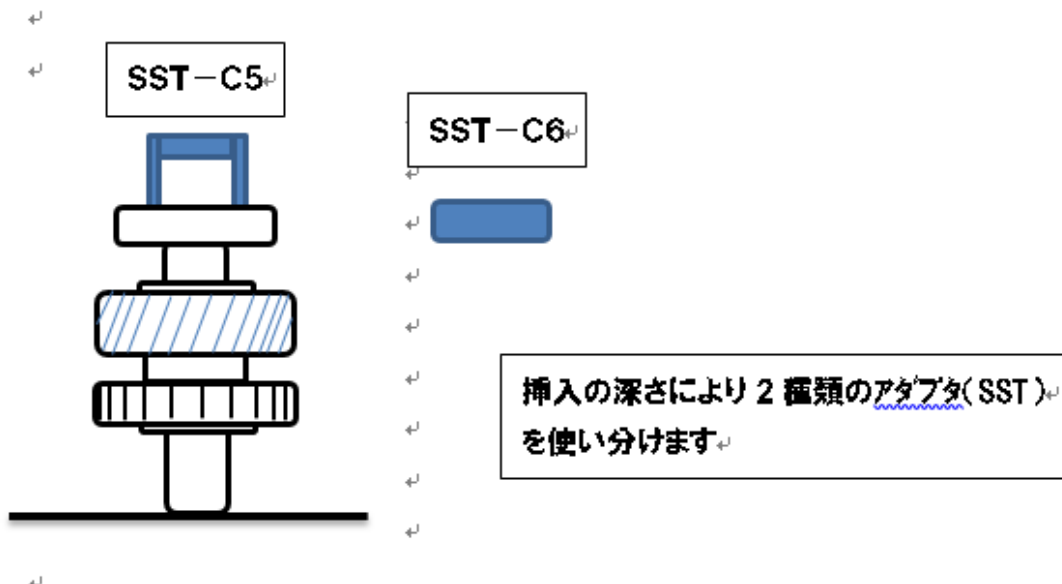
図表 12 ベアリング外し補足作業



[要領書]-10 ベアリング組付け作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	新旧ベアリングの厚みを確認のため測定する	出来上がり寸法が変わらない事が条件	
2	ギヤのベアリング挿入部シャフト・端面をきれいにし傷がないかなど確認後組付け油塗布する		
3	カウンタドライブギヤのスプロケ側を下にしてプレス台に置く		
4	ベアリング・SST-D2の順に置く		
5	プレスのバルブを閉じハンドル操作でロッドを下げ押す位置に近づいたらと中心位置と傾きを修正		
6	ハンドル操作で下げるとベアリングがシャフトに入る音「コツン」と出たら操作を止めバルブを開く		
7	一旦定盤に移しベアリングの傾きをノギスで比較する	目視でも可	
8	傾いていたらインナーの高い所に平行ピンポンチを当てハンマーで軽く叩き水平になるよう修正する		
9	再びプレスで挿入し入る感覚がなく圧力だけが上昇する状態の時はバルブを緩める	ベアリングが端面に当たると圧力が急上昇するので注意	災害防止
10	全周が端面に付いたのを平行ピンポンチで周囲を叩き反発を確認する。またノギスを使っても確認する。	音の変化を聞き逃さない甲高い音がする	
11	この他のベアリングも同様な手順で作業を進める	SSTの代用品は使わない	組付不良防止
12	ディファレンシャルドライブピニオンはSST-D4・SST-D5を使う		

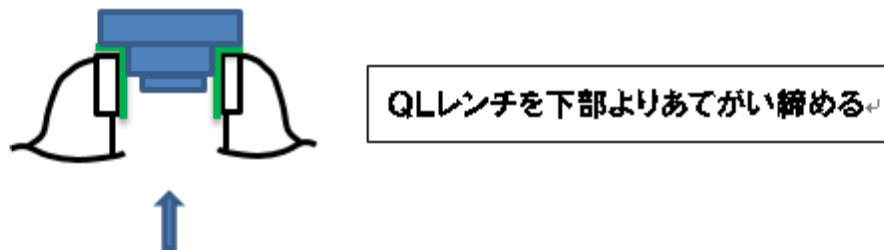
図表 13 ベアリング組付け補足図



[要領書]-11 41 mmナット組付け作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	ナットの端面を砥石掛けしエアブローする	保護メガネを装着する事	災害防止
2	ナットのネジ部にグリスを塗布		
3	ナットを手で端面まで締める	スームズに入らずカシる事がある	組付不良
4	上の絵のようにバイスにしっかり挟む	当て物を施ししっかり固定する	
5	QLレンチを使い280Nmで締める	ナットが薄いので外さないように注意する	災害防止
6	ナットの緩み防止ためカンメる箇所を上にしセットする	しっかりバイスに挟む	
7	タガネとハンマーで端から2mm位のところに鑿を当て叩く	へこみができればよい	

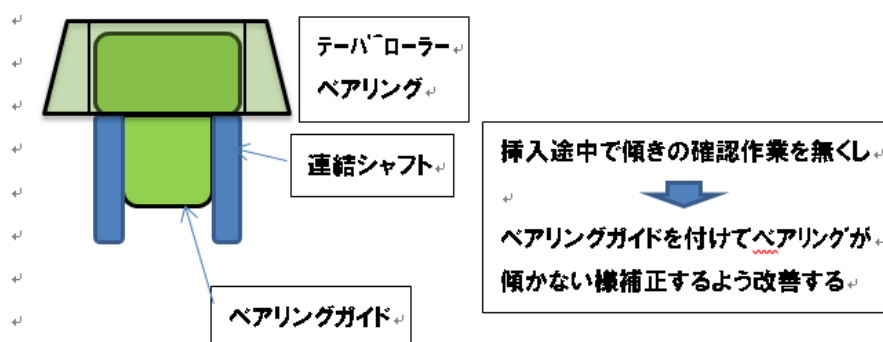
図表 14 ナット組付け補足図



[要領書]-12 TRB 組付け作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	テーパーベアリングはRHローラー数24個、LHローラー数22個とテーパーも異なるため組付けに注意する	LHはモーターAssy RHはジェネレータAssy	
2	はめあい部に傷汚れがないことを確認し組付け油をはめあい部に塗布		
3	連結シャフトをプレス台に置きベアリング・SST-D6の順に置いていく		
4	プレスのロッドを当たる所まで下げベアリングとSST-D6に傾きがないか確認修正する		
5	良ければ加圧しベアリングを圧入 少し入ったところで止めロッドを上げる	ベアリングに傾きがないか目視・ノギスで確認する	
6		修正する場合は高い所を平行ピンポンチ・ハンマーで叩き修正	
7	プレス機に掛け加圧し端面まで挿入	圧力計を確認しながら挿入	災害防止
8	ベアリングが最後まで挿入されたのを確認するため平行ピンポンチでベアリングインナーの周囲を叩き確認		

図表 15 TRB組付け補足図



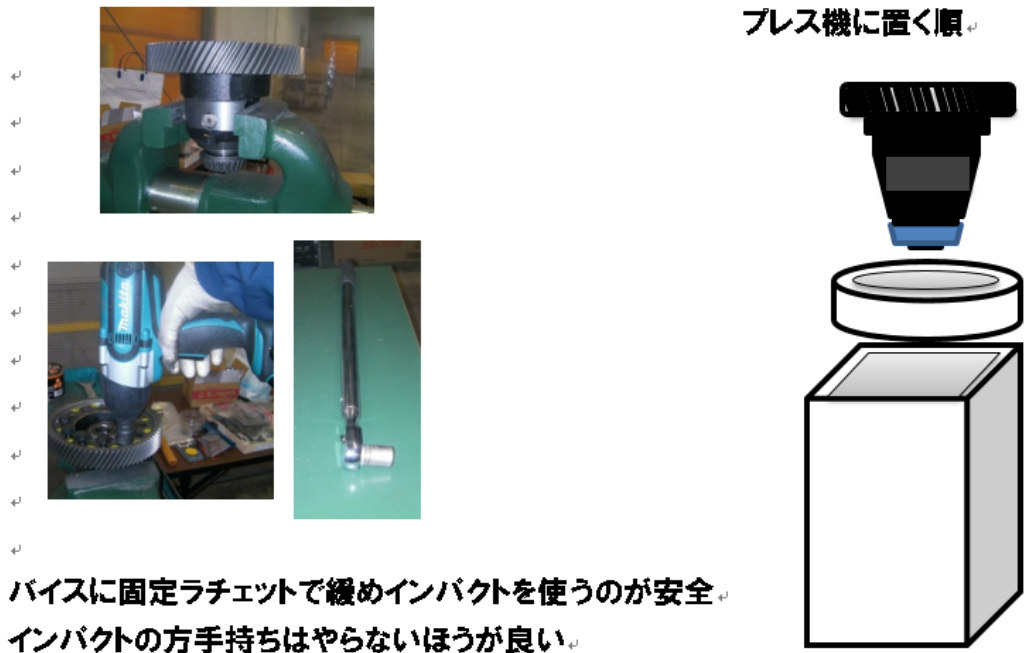
連結シャフトをプレス機に置き上図のようにセット後ベアリングをシャフトが長くなった分挿入するSSTも作り変更。



[要領書]-13 リングギヤ外し作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	ディファレンシャルケースをバイスに固定する	作動ギヤの見える所で挟む	
2	インパクトレンチで外す場合、特にボルトに対して斜めにならないようインパクトを両手で支え外す	緩みにくい場合は長いラチェットで緩めインパクトを使用	
3	プレス機にSST-C4を置き、上にSST-C5を置く。そこへディファレンシャルケースをセットする	インロー部は7mm位	
4	ディファレンシャルケースのシャフトの上にSST-C6を置き、バルブを閉じハンドルでロッドが当たるまで下げる	ロッドは中心狙いで	災害防止
5	更にロッドを下げていきケースを抜く	異常な圧力上昇は注意	災害防止

図表 16 リングギヤ外し補足図



[要領書]-14 シム選定作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	定盤・マグネットベース・スモールテスタ・ブロックゲージ・パレラ・定盤を準備する	ブロックゲージは使用後さびないように対策する	
2	外したアウターLH・ディファレンシャルケース・アウターRHを定盤に積重ね、連結シャフトも同様に並べて置く	安定していることが大前提アウターレース周辺を押さえ確認	測定精度向上
3	アウターRH3か所をスモールテスタで測定、三つの値の平均値をとる	ばらつきが大きい時は異物組直す	
4	平均値の所へスモールテスタを当てゼロに合わせ、連結シャフトへ移動する		
5	連結シャフトのアウターレース3か所測定した平均値を取り、デフと連結シャフトの差をみる	プラスの値は連結シャフトが高いマイナスは旧デフが高い	
6	シム単体の厚みをマイクロメータで測定する	周囲を3回測定する	
7	シムの厚み-(連結シャフト-旧デフ)=新シム	カッコ内の値はNo.5の値を入れる	
8	シムは30種0.03mmずつ厚さが違いますその中間に来た場合は薄いほうを選択する	経緯も含め記録する	

[要領書]-15 リングギヤ組付け作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	連結シャフトをバイス台にしっかり固定	ワーク保護のため当て物をする	
2	連結シャフトの端面とインロー部を砥石掛けしクリーニングする		
3	リングギヤもクリーニングし傷等ないか確認	砥石掛けする	
4	連結シャフトのはめあい部に組付け油を塗布しリングギヤを載せる		
5	ボルトを対角に3本取り付け手締めし、リングギヤと連結シャフトのインロー部をのぞかせるためボルトを締める	ノギスで段差を3か所確認し平行にする	
6	プレス機で圧力計を見ながら圧入する	インロー部は3mm位です	
7	すべてボルトを入れ対角に少しずつ締める	インローの周囲が大きいので傾きが分かりにくい	
8	最終締め付けトルクはQLを使い87Nmで締結	仮締め同様対角に締める	

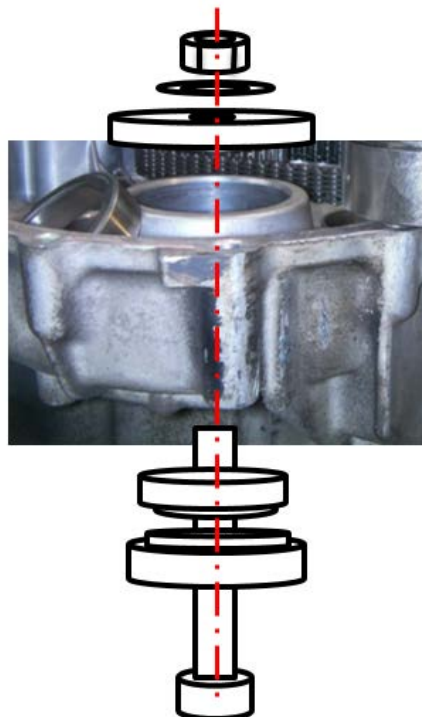
[要領書]-16 合わせ面等清掃作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	不純物付着防止のためモーターAssyとジェネレータAssyに何も無い状態で行う	手袋着用と強くこすらない ケブラー軍手が最適	切創防止
2	内壁の油分をなるべくきれいに拭き取る	パーツクリーナー等使用する	
3	モーター軸とジェネレータ軸にごみが入らない様養生する		
4	合わせ面のシールをスクレーパーと脱脂スプレーを使いきれいに取り除く		
5	Assy取付穴のロックタイトカス取るためタップを掛ける	斜めに入らないように注意する	
6	エアブローを行いタップ穴→合わせ面→ケース内部の順に実施	飛散するため保護具着用 保護メガネ・防災面の同時使用	災害防止
7	合わせ面の砥石掛けを行い脱脂罪で拭き取る		

[要領書]-17 オイルシール組付け作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	モーターAssyケースとジェネレータAssyケースにオイルシール組付け、シール挿入部を脱脂	モーターとジェネレータのシールは異なるので注意する	
2	下側にM12ボルトにSST-B1・新品のオイルシールをケースの下から挿入する	手袋をする	災害防止
3	上側にプレート(SST-B2代用)→平ワッシャーM12ナットの順にボルトに入れる		
4	ナットをオイルシールとケースが密着するまで手で締める 挿入口にシールがのぞくようにする	オイルシールが斜めになっていないか確認	
5	ナットを締め1・2回転くらい回す	並行に入っているか確認	
6	シールが入ってない部分のSST-B1の外周をコンボータンで叩き修正		
7	並行であればさらに1・2回転回す		
8	更にナットを締める	こまめにシールを確認	
9	ナットが固くなりSST-B1がケースに密着したら、外周をコンボータンで叩き入っているか確認		
10	治具を外し端面から2.7±0.5mm深く入っているかノギス等3か所確認		
11	【確認修正はHV組付けの後でも可能】		

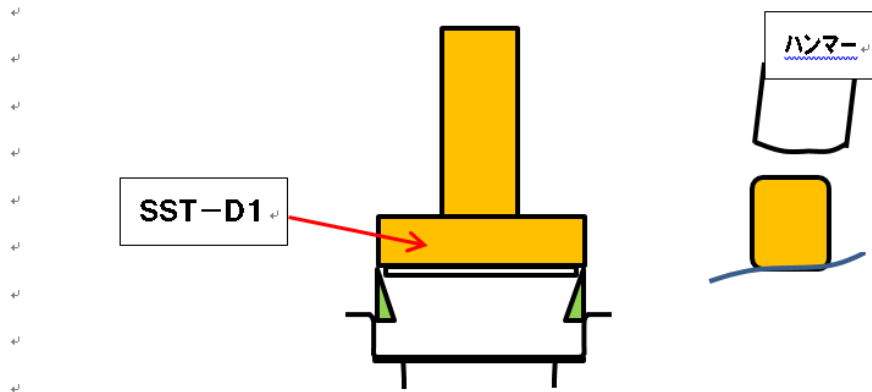
図表 17 オイルシール組付け補足図



[要領書]-18 アウターレース LH・RH 組付け作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	ジェネレータ側・モーター側・テーパー角度・ローラー数が異なるので注意し、モーター側はシムと一緒にしておく	RHはローラー数24個 LHはローラー数22個	組付不良
2	アウターレース挿入部の面がきれいか、傷が無いかなど目視及び手でなぞり確認する	僅かな傷でも挿入不可	
3	ミッションオイルをはめあい部に塗りアウターレースをセットする	水平に入っているか確認	
4	SST-D1をアウターレースの上面に置き軽くハンマーで叩いてみる	入っている時の音とハンマーからの手の感じを認識しておく	
5	挿入途中アウターが水平にあるかノギスカ目視で確認	斜めになったらSST-D1の外周をハンマーで高い所を叩く	
6	SST-D1の外周を叩き全面が端面まで挿入されていることを確認	ベアリングが端面付いたことを周囲数点叩き反発の音を確認	
7		この時SST-D1の上端をズレないように押さえいる事	組付不良防止

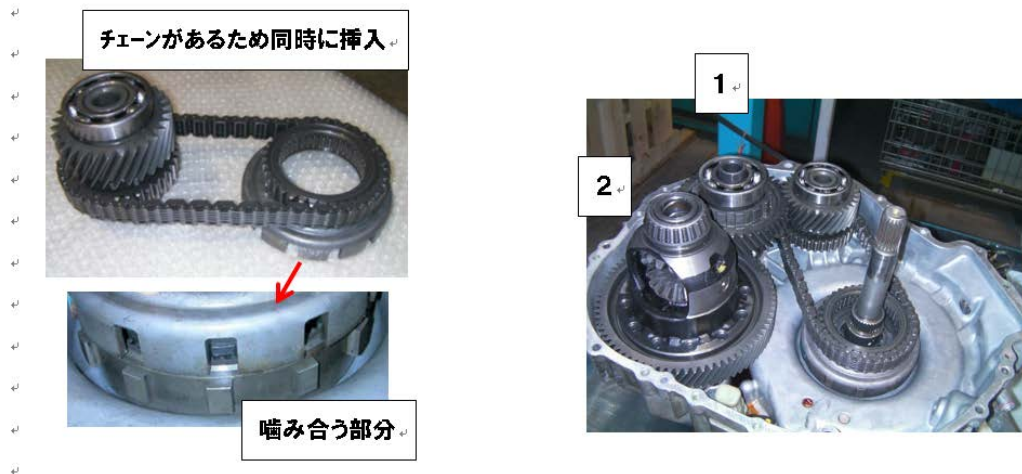
図表 18 アウターレースLH・RH組付け補足図



[要領書]-19 ギヤ組付け作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	ベアリング挿入部を再度きれいか傷はないか確認	目視だけでなく手でなぞり確認	
2	きれいなウエスの上でカウンタードライブギヤとトランスミッションドライブsprocketにチェーンを掛ける		
2	右手にドライブsprocket、左手にカウンタードライブギヤを持ち平行を保ち挿入	ドライブギヤがくいついた場合は最初からやり直す方が早い	
3	同時にトランスミッションドライブsprocketに噛み合う位置があるので左右に少し回しながら入れる		
4	ディファレンシャルケースを組付ける	仮組付け	
5	①ドライブピニオンを左手に持ち挿入位置に持っていき②ディファレンシャルケースを20mm位持ち上げる	ドライブピニオンのベアリングの厚み	
6	①と②を同時に挿入し①ははめ合いにつき垂直に少し回しながら降ろす。②は①に合わせ降ろすのみ	②は①に影響を与えないようにする	

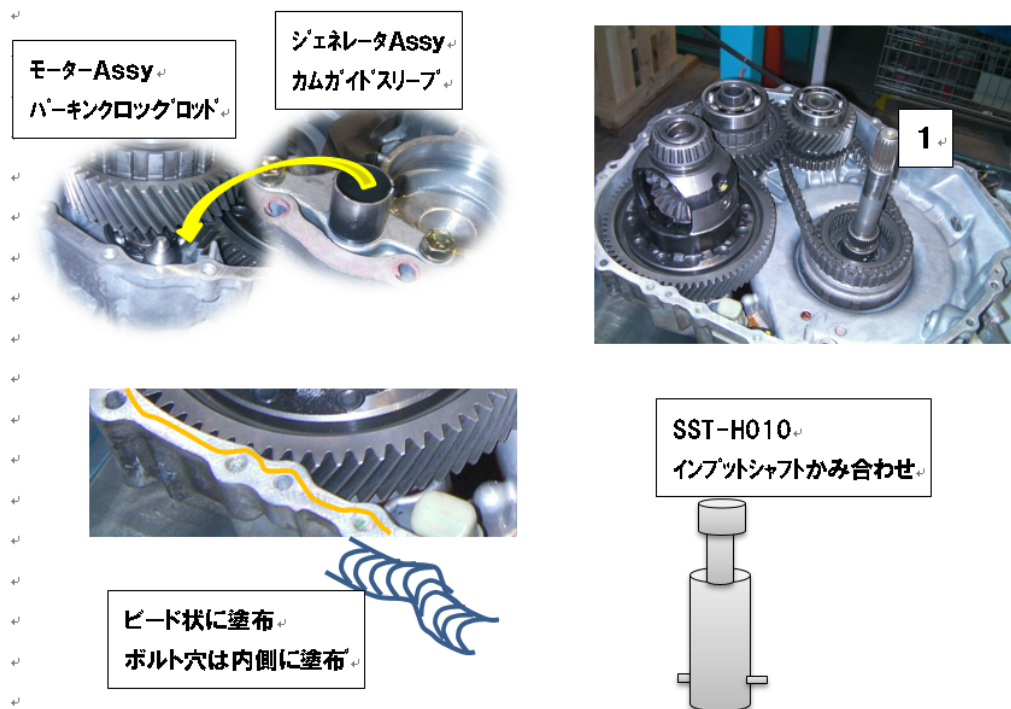
図表 19 ギヤ組付け補足図



[要領書]-20 HV 組付け作業要領書 HV 編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	モーター・ジェネレータAssyの合わせ面をきれいにする	手袋着用 シール材は残らず取れているか確認	
2	砥石を掛け脱脂する		
3	モーターAssyの合わせ面にシールパッキン1281をビード状(Φ1.5mm)に連続して塗布する		
4	ジェネレータに吊り具を付け反転し、吊り具を付け替える		
5	ジェネレータAssyを吊り上げ1口インプットシャフトを通し残り20mm付近まで下降		
6	モーターのインプットシャフトを通過し、スプラインの勘合を見ながら下げる。ベアリングは水平を保ち下げる	スプラインを少し左右に回すと合いやすいSST-D7	
7	ケースの位置決めピンが入るまで水平を保ち少し揺らしながら下げていく	ワイヤーが緩るんだら止めて一旦上昇しまた下降する	
8	密着しワイヤーが緩んだらコンポーテンで周辺を叩いて密着の確認		
9	ディファレンシャルケースのドライブシャフトSST-E1で回して馴染ませる		
10	ボルト21本にロックタイトをネジ部に塗布しを軽く締める		
11	強めに対角に締めていき2巡目に基準トルクで締める		
12	基準値 T=25Nm		

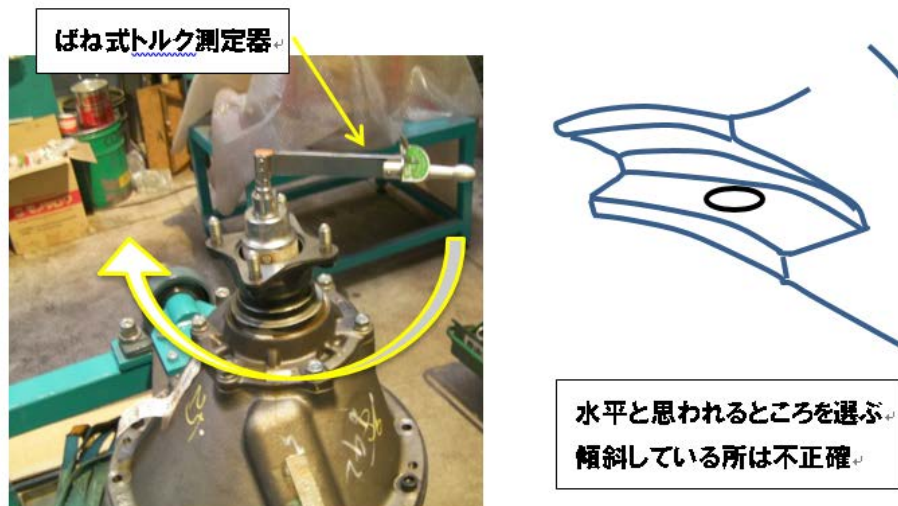
図表 20 HV組付け補足図



[要領書]-21 分解前測定作業要領書 増速機編

1	回転トルクを3回測定し平均値を出す	一定の回転速度を保つ指針がブレない様にする	
2	デフ(増速機)を反転する	重心が高いので注意する	災害防止
3	スモールテストをギヤの水平に近い所で歯型の中央にセット		
4	リングギヤを前後に軽く動く範囲回してガタを測定	0.3mm前後バックラッシュがある	
5	これを3か所で測定し平均値を出す		
6	これらは記録簿に記入		

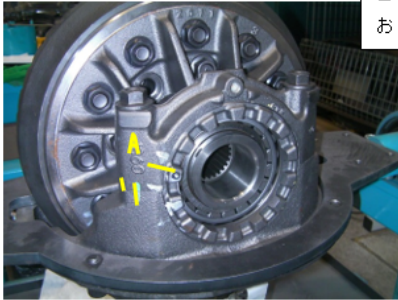
図表 21 分解前測定補足図



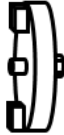
[要領書]-22 リングギヤ部取出し作業要領書 増速機編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	アジャストナットとキャップに元の位置に復元できるようにマーキングをする	分解後左右の部品が混ざらないように区別しておく	
2	左右のアジャストナットの深さを確認	組む際の目安	
3	左右のアジャストナットのまわり止めを外す		
4	左右のアジャストナットを半回転ほど緩める(専用工具を使う)		
5	リングギヤ側のボルトを2本外しキャップを取る	コンボータンでボルト側面を軽く叩くと取れやすい	
6	続いてアジャストナットを上へ引いて外す	精密なネジ部です真上に引く事	
7	ベアリングアウターを専用工具をシャフトに入れ少し持ち上げて外す	デフを持ち上げた瞬間タガが外れように動く場合がありますゆっくり行う	
8		部品は元に戻すので分けておく	
9	作動側も同様に作業		
10	デフ専用吊り具を付け吊り上げボルト側を上にしてボルト脱着用具に置く	吊り具は決められた通りきちっと装着	災害防止

図表 22 リングギヤ取出し作業補足図1

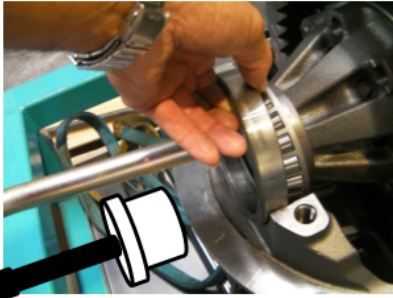


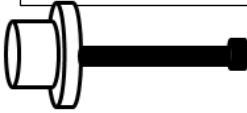
合マークは数か所や分別を分かるようにしておくといひ

ナットを回す専用工具は干渉が多く、
右の工具はラチェットと併用すれば数倍速く回せる

テーパーローベアリングのアウターを外す様子ですが現在丸棒を使用してますがより安全に使えるようにはめあうシャフトを製作しました組付けにも使いやすいとの思ひです





図表 23 リングギヤ取出し補足図2



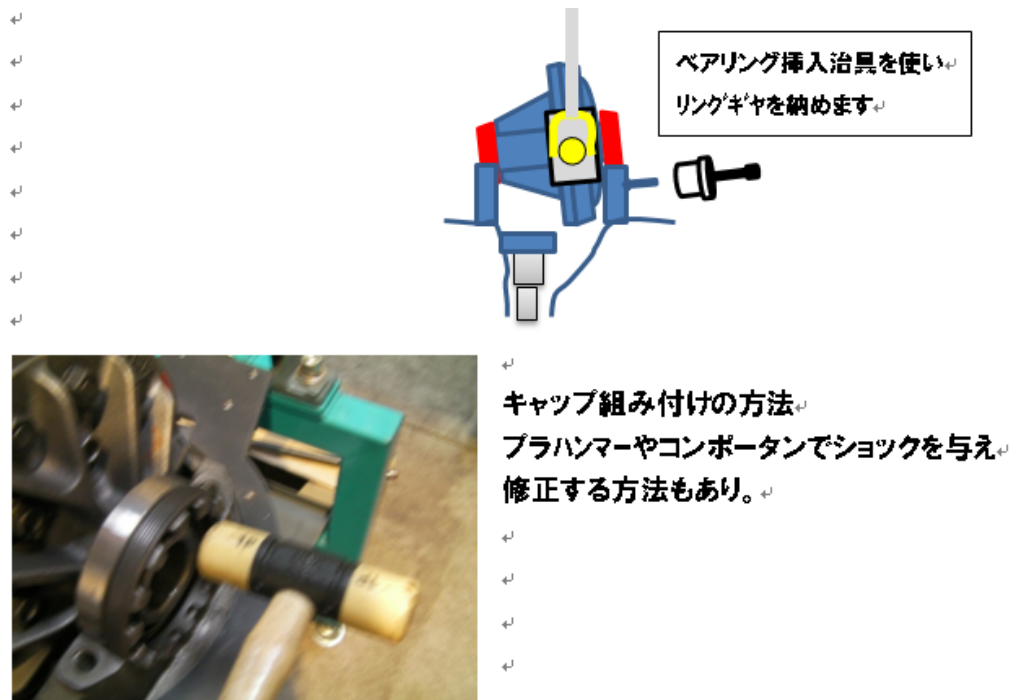
[要領書]-23 差動部組替作業要領書 増速機編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	治具に置かれたデフを両側の松葉クランプでしっかり固定		
2	できるだけリーチの長いラチェットを使いすべてのボルトを緩める	体を安定させるため	災害防止
3	落下防止用にボルト2本を残しインパクトレンチで素早く外す		
4	吊り上げてボルト側を下にして分解用治具へ置く		
5	ボルト2本を外す		
6	作動ギヤのケースを取り作動ギヤを取り除きスパイダーと入れ替えし、ケースを組付けボルトも取り付け		
7	ボルトを仮締めし、吊り上げ再度ボルト脱着用治具に置き松葉クランプする		
8	すべてのボルトを挿入し対角に仮締めする	丸物のボルト締めは対角に締める事	
9	QLレンチを使い280Nmで本締めする		

[要領書]-24 デフ組付け作業要領書 増速機編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	デフケースにリングギヤを組み付ける際はボルト側を持ち上げ傾けながらゆっくり降ろす	吊荷に直接触らないベアリング挿入機を使う	
2	ドライブギヤを抜けたら水平にし着地ぎりぎりまでに止めておく	ホイストを非常停止アウターを入れ易く安定にする	災害防止
3	アウターレース挿入治具(SST-Z9でアウターレースを左右とも入れ下降する	手作業時はホイストを非常停止にする事	災害防止
4	アジャストナットをハウジングに収め直しアウターレースの端面に当てる この時リングギヤにガタがある事	ないときは寄りすぎリングギヤ側へナットで押し引きする	
5	キャップを合マークの通り組付け密着させるが、密着しない場合はアウターを挿入治具で調整	ナットを外してアウターの傾きをコンポーテンで修正	
6	キャップのボルトを仮締めする、ナットが軽く回らない場合は組み直す	合マークの不一致やアウターの傾きが要因	
7	QLレンチを使い211Nmで本締めする		
8	ボルト側のナットをリングギヤのガタを確認しながら締めていき、ガタが無くなったらし返しガタを作っておく	大きめでも可	
9	作動側のナットを固くなるまで締める		
10	ガタを測定するためスモールテスターをセットし、ガタを測定する基準は0.3mm	前測と同様	
11	0.3mmより値が大きい場合は作動側のナットを緩めボルト側のナットを締める。小さい場合はその逆をする	0.3mm±0.04の範囲	
12	締め切ったナットはそれぞれ1ノッチずつ緩める	回り止めが付く位置にする	
13	数回回したのちに回転トルクを測定し3回測定の平均値を記録簿に記入	2.5～3Nm以下が良品	

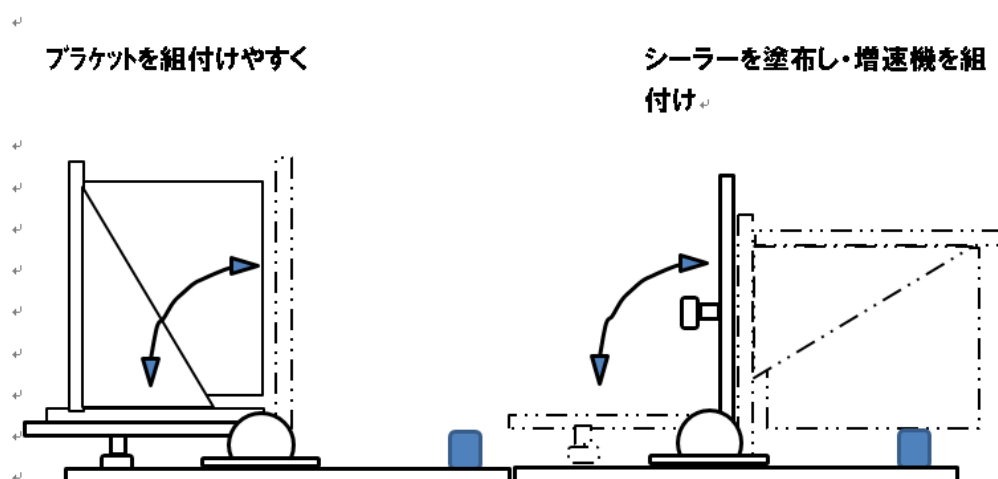
図表 24 デフ組付け補足図



[要領書]-25 増速機組付け作業要領書 総組付け編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	ブラケット内部をきれいにしピン穴にリーマーを通し組付け面を砥石掛けする	リーマー作業参照	
2	デフ組付け治具の回転台を水平にし上面を砥石掛けしてきれいにする		
3	デフブラケットをテーブルに載せボルト4本で固定		
4	チェーンブロックとてこバーを使って回転台を垂直にする	重心の位置が45度付近から起こす側に変化するので注意	災害防止
5	デフ取付部に位置決めピンを挿入し、シーラーを巾1.5～2mm位でビード状に塗切れなく塗布(HV組付け同様)	ピン・ボルト穴の所は内側に塗布	
6	デフ組付ガイドバーを対角に2本取り付け		
7	デフを上部より慎重に下降、ガイドバーを貫通させボルトが入る高さになったらボルトを入れ密着するまで下降する	ガイドバー貫通時乗り上げないように注意する	災害防止
8	ガイドバーを外しボルトを仮締め後、対角に増し締めする		
9	てこバーを取付チェーンブロックで吊り上げ重心が頂点付近に来たらてこバーで軽く水平方向に引いてみる	チェーンが緩んだら張るようにする。途中重心移動がある	災害防止
10	てこバーで水平側に引き寄せ緩んだら張り、重心が水平側に移動したらゆっくり降ろし水平にする		
11	ベースのピン穴にリーマー通す次に取付面に砥石を掛けきれいにした後組付け油を塗布		
12	デフユニットにワイヤー掛けをし張った後ボルト4本を緩め、吊荷が水平付近で収まっているか確認	移動時吊り荷の揺れ防止に吊荷にワイヤーを掛け防止する	
13	傾きが大きい場合はレバーブロック等を使って調整する	玉掛でも可	災害防止
14	ベースに着地したらボルトを入れ次にガイドピンをいれワイヤーを外し、ボルトを軽く締める		
15	ガイドピンを抜きピンを口元に置き平行ピンペンチで打ち込みボルトを増し締めする		

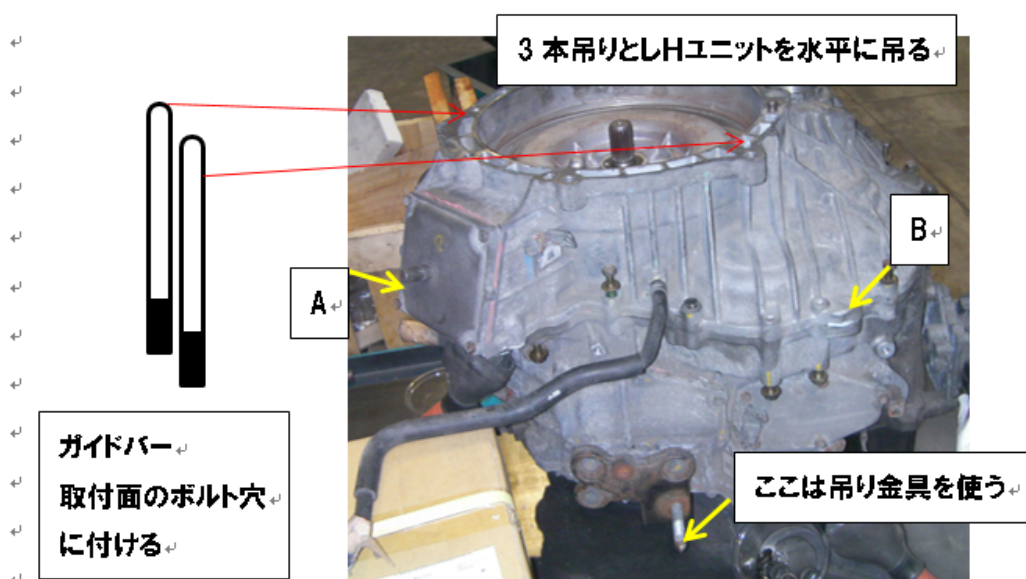
図表 25 増速機組付け補足図



[要領書]-26 HV ユニット組付け作業要領書 総組付け編

No.	手順	急所(気をつける事)	理由
1	ブラケットのピン穴にハンドリーマーを通し組付け面に砥石掛けをする		
2	ベースのピン穴にリーマー通し取付面の砥石掛けをする そこに組付油を塗布する		
3	ブラケットを吊りベースに載せボルトを入れる→ガイドピンを入れボルトを軽く締める		
4	ガイドピンを抜き平行ノックピンを平行ピンポンチで打ち込めだ後ボルトを増し締めする	斜めに打ち込まないように2方向から確認しながら打ち込む	組付不良
5	HV取り付け面にノックピンを打ち込みむ	HVユニットに付いている時もある	
6	HVユニットを治具より台車に横置きする	不安定なためゆっくり下降する	災害防止
7	AとBにはシャックルを、取付ボルトには吊り具(SSTH1)を取付ける		
8	取り付け面对角にガイドバー(SSTH2)2本取り付け	固定ボルトに取り付ける最後にバーを外しボルトを付ける	
9	HVユニットと取付位置が合うように左右のワイヤーを調整	吊ったまま調整せず降ろした後、ワイヤーが緩んでから調整する	災害防止
10	取付面が合うように傾きの修正を後ろのワイヤーにて調整	レバーブロックや玉掛で行う	
11	ガイドバーがボルト穴を抜ける時は慎重に横行する		
12	ボルトを入れ仮締めしたら吊り具を外しガイドバーも取り外した場所にボルトを入れ対角に増し締めする		

図表 26 HVユニット組付け補足図1



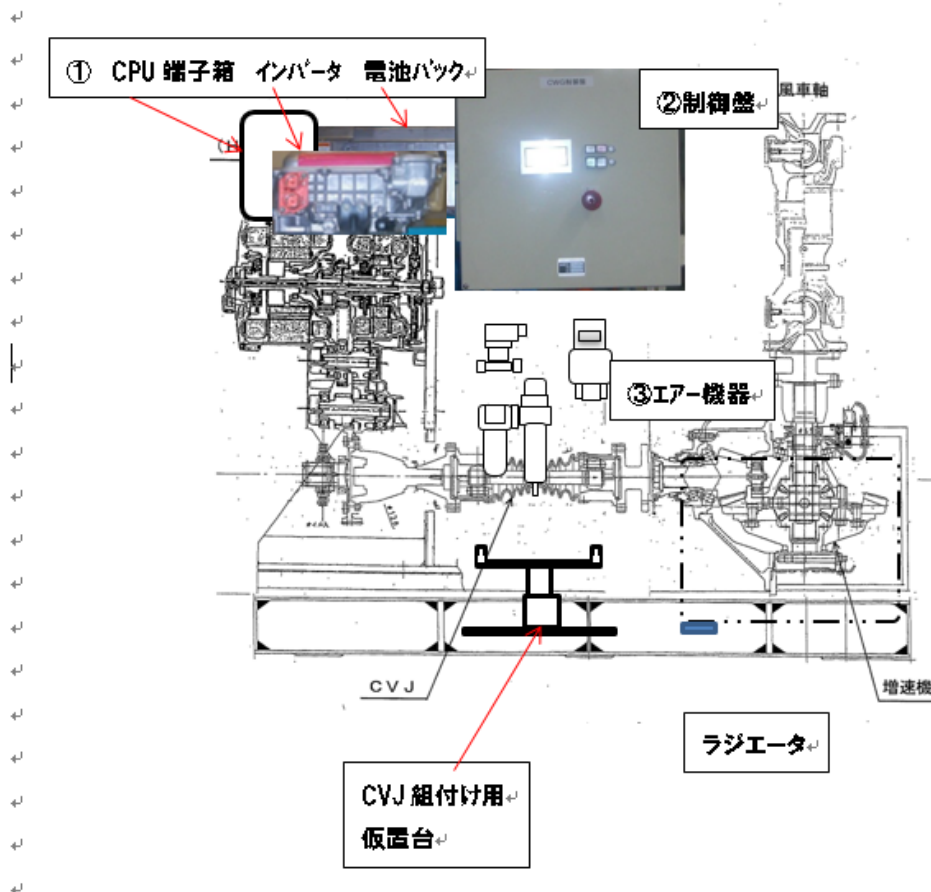
共同作業を一人作業に変更
吊って組付ける不安定な作業から
↓
組付け治具を開発・ガイドバーで吊荷を誘導

図表 27 HVユニット組付け補足図2

これら①②③の機器類取り付けブラケットはベース・HV ブラケットより出し一体化



配線の簡素化・現地への据え付けが置きボンとなった



< 補足 >

機器類のすべてが組付いたら以下の手順にて良否確認をする。

- 1.) 5. 配線・配管と一次繋ぎ込み
- 2.) I/Oチェック 漏電チェック
- 3.) パワーON
- 4.) 機器立ち上げ
- 5.) 制御流し込み 初期設定
- 6.) マニュアル運転(各個操作)
- 7.) インターロック→ここからはダミーの動力で確認
- 8.) 自動運転(連続運転)
- 9.) 異常だし確認

III-4. ブレーキの改造

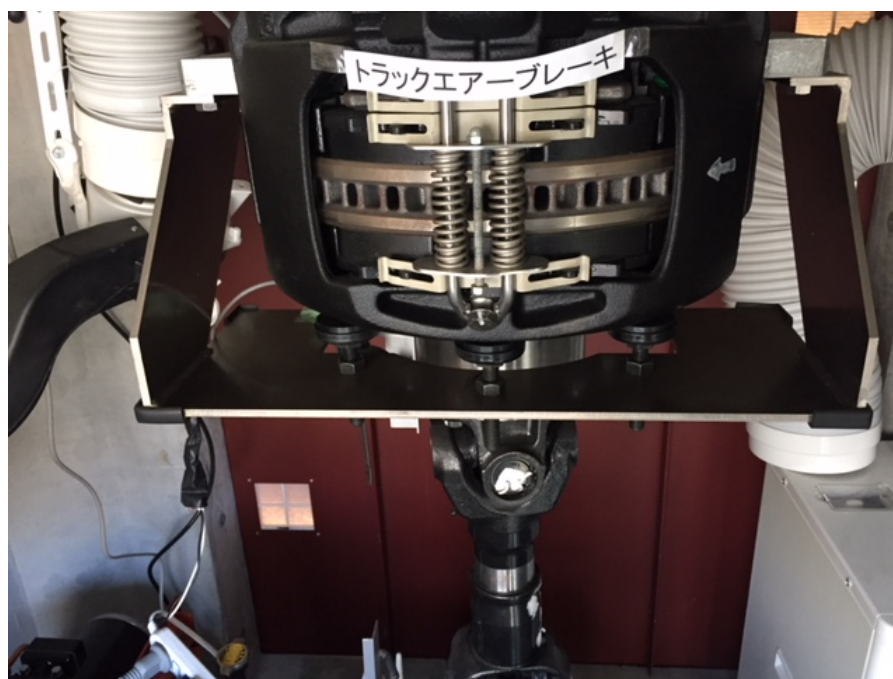
1 エアディスクブレーキ

昨年度はトラック用エアディスクブレーキを風車用ブレーキとして転用するため、水平方向で使用する際に支障となる自重によるパッド落込みを解消する仕組みを開発した。本事業ではその仕組みを組み込んだブレーキを実際に風車に組み込み、その作動状況を確認した。その結果ブレーキ作動後に開放してもパッドが完全に復帰せず、引きずりを起こしていることが判明したので、それを解決するための改造を実施した。

またブレーキ操作の圧縮空気システムに関しても、テストプラントで作動状況を確認し必要な改造を実施した。

図表 28は昨年度の試験結果を踏まえて、パッド復帰スプリングを取り付けたディスクブレーキの写真である。

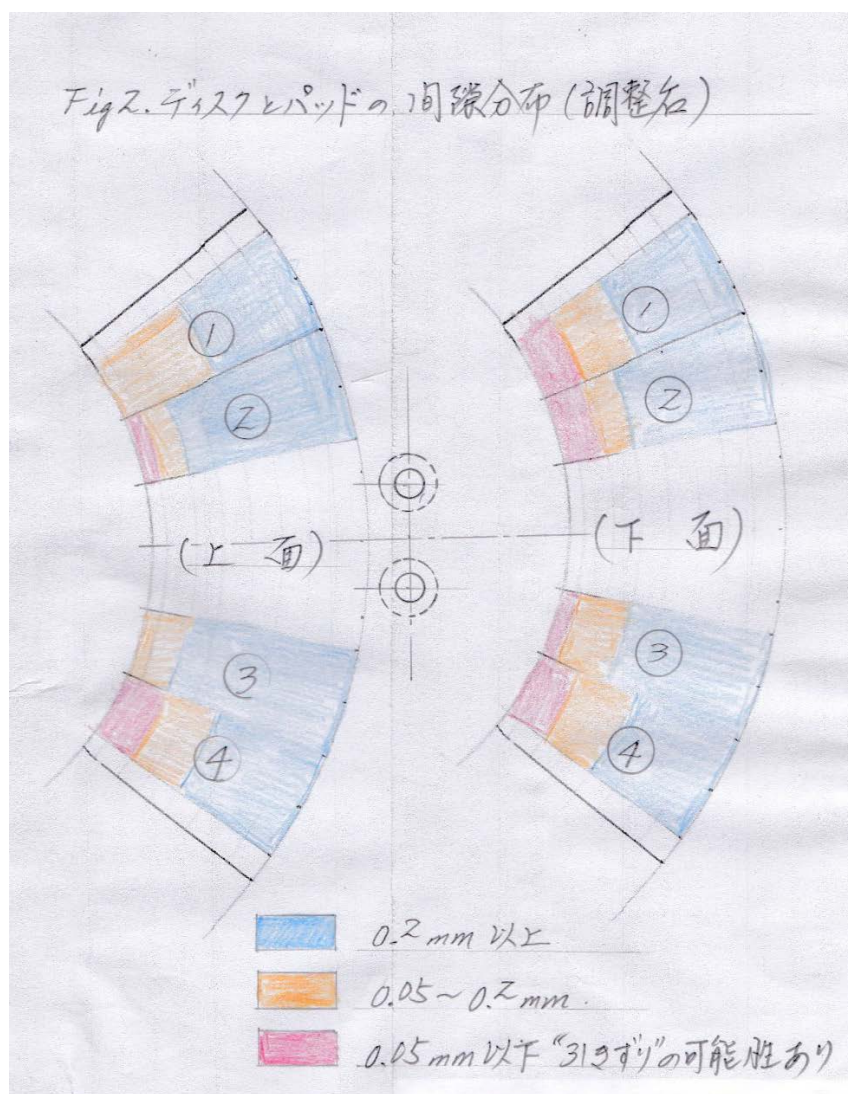
図表 28 パッド復帰スプリングを取り付けたエアディスクブレーキ



1-1 ディスクとパッドの間隙分布測定

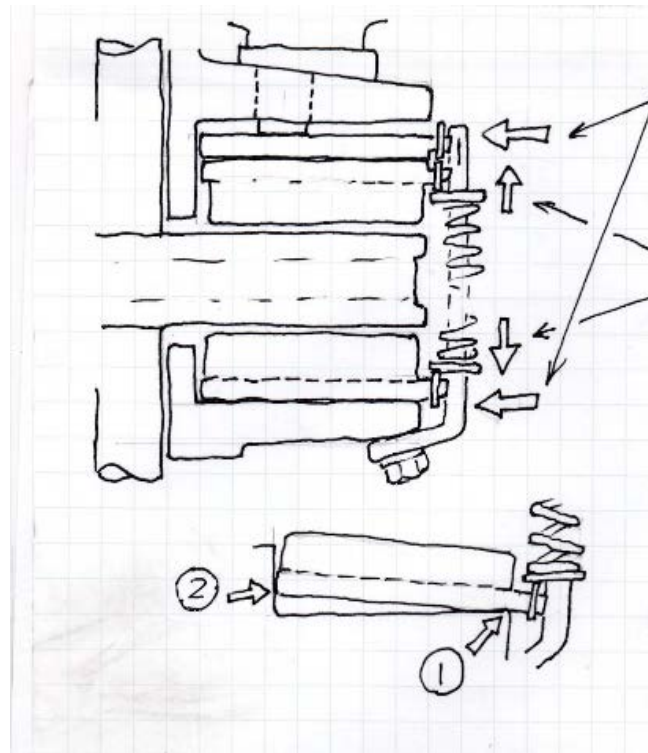
パッド復帰スプリングを取り付けたエアディスクブレーキを使用して、プロト機の運転を実施していたが、ブレーキ作動後に引きずり状態になっているのではないかと疑いが生じた。それを確認するためにブレーキを作動させ開放した直後のパッドとディスクの間隙を隙間ゲージにて測定した。図表 29はその結果である。

図表 29 ブレーキディスクとパッドの間隙測定結果



ブレーキの前面は拡張スプリングの効果で、十分な間隙が保たれているが、後面（奥側）は間隙が小さく引きずりの可能性がある。下面のパッドは少し運転すれば自重で落下し間隙が広がるが、上面パッドは元の位置にはなかなか復帰しない。

図表 30 パッドの動きについて



パッド押えスプリング（弓型）により奥方向へパッドが押付けられている。

拡張スプリング（コイル）によりパッド前面を上下方向に拡げている。拡張スプリングにより①を支点にしてパッド後部が持ち上がり（上部では押し下げられ）復帰しない。特に上部パッドでその傾向が著しい。

1-2 上部パッド吊上げスプリング

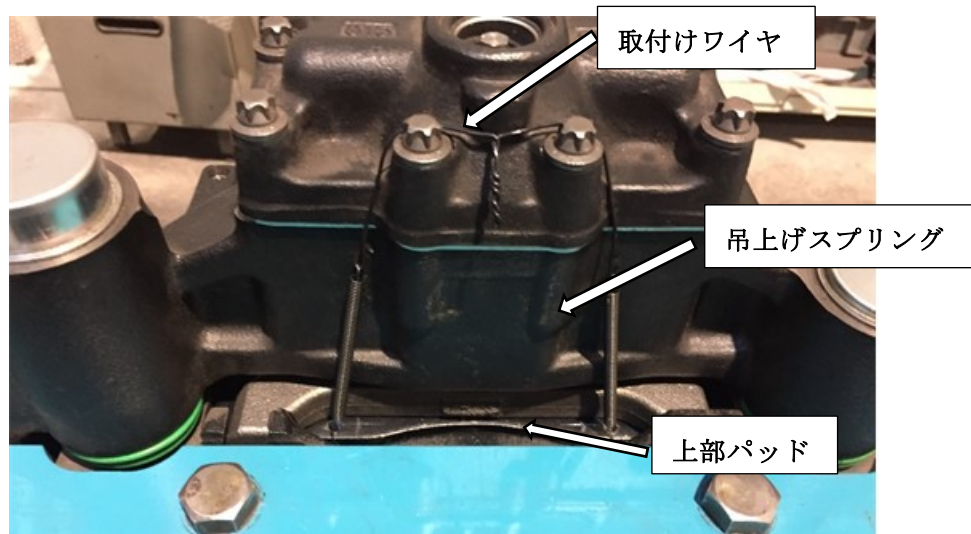
上部パッドの引きずりを解消するため、上部パッド奥側に吊り上げスプリングを取り付ける方法について検討し、試作してみた。

上部パッドの奥側は、次ページの写真でも判るようにプレッシャープレートより10mm程度出しており、この部分にパッドを吊り上げるためのスプリングを取り付けることにした。使用できるスペースは長さ30mm、幅が10mmほどの菱形であり、構造上パッドに予め外付けすることができない為、この狭い隙間でスプリングの取付けを実行しなければならない。

当初はM6のデンデンボルト（小さなアイボルト）の使用を考えたが、アイ部分が周囲に干渉し使えなかった。頭の小さい六角穴付きボルトを試したところ、M6では僅かに干渉し、M4では楽に操作ができた。必要なスプリングの強さは1.5 k g 程度なので、スプリングを止めるにはM4でも十分である。

試験ではスプリング上部はワイヤでつなぎ、ブレーキ上部のボルト2本に渡して引っ張り、このワイヤの張り方で引き上げ力を調整した。（図表 31）

図表 31 上部パッド吊上げスプリング試作試験



2-1 総合斜め線(図表 32)の見方

縦軸に作業項目、横軸に時間

図表 32 総合斜め線



本章で行ったように全行程に対して作業要領書を作成し、全ての作業を標準化・効率化すると総合斜め線が、「右肩上がりの直線」になる。これにより全体工程設計が無駄なく行われていると評価できる。

42

た。結果、当初の基本理念とした「安全で」、「正しく」、「正確に」、「やりやすい」、「作業者に優しい職場」作りが実現した。

IV. 海外での回収スキーム

本章では、昨年度HVユニットの国内回収仕組み作りを行った海外展開について記載する。事前に、回収対象である2世代プリウスが多数販売された都市を特定し、現地調査協力企業を探索した。2世代プリウスは、日本国内で約40万台販売されたが、海外でも100万台近く販売され、その主な販売国は、米国が75万台で圧倒的に多い。又、既に日本で使用済みとなった2世代プリウスの廃車約10万台の内、9万台がモンゴル・ウランバートルへ輸出されている。この事実を踏まえて、今後使用済みとなるプリウスからの風車向けユニットの回収の可能性を調査するために米国・ロサンゼルス、既に使用済みとなったプリウスからの回収可能性調査のためにモンゴル・ウランバートルそれぞれ選択した。

IV-1. 米・ロサンゼルス

米国・ロサンゼルスには、豊田通商の海外現地法人である「TOYOTA TSUSHO AMERICA Inc.」があり、今回の調査では、該社と提携先として協力を依頼した。

1 米国解体業界

米国では、図表 33にあるように通称「Self Service Yard」と言われている「もぎ取り式」の解体ヤードが全体の9割を占めている。

図表 33 米国で代表的な自動車解体ヤード風景



2 回収スキームの構築

昨年度、日本国内で確立した回収スキームは、解体業者に「回収マニュアル」を提示してマニュアルに沿って、風車に必要なHVユニットを回収するものであるため、上記米国式ヤードでは通用しない。米国でも、「Full Service Yard」と呼ばれている日本式解体もあるが、そこでは既に、回収する中古部品をバックオーダーとして抱えており、部品販売とセットでの営業となっているため、やはり、日本でのスキームの横展開は困難。従って、ロス近郊だけでも10か所以上ある図表 34に見られるような中古車・事故車のオークション会場で、対象となる2世代プリウスを確保するスキームを検討した。

図表 34 ロス近郊の保険会社主催自動車オークション会場



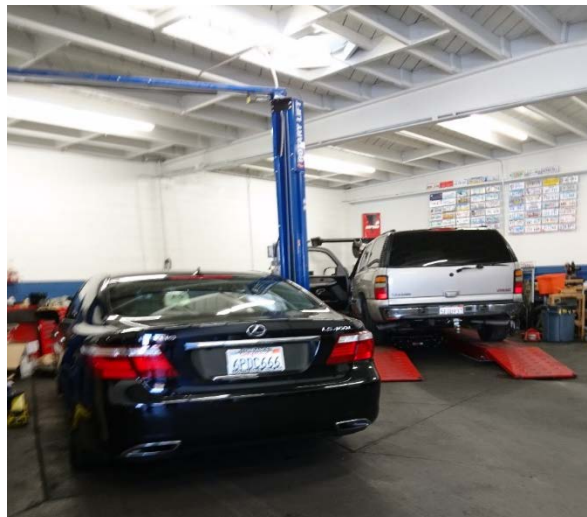
同時に、オークションに車を供給する大手であるロスのトヨタ車販売ディーラーも訪問し2世代プリウスの下取り価格も聞き取り調査し、概ね、約20－25万円/台である事も確認した。個人間で中古車を売買するネットオークションでもほぼ同値にて取引されていた。

次に、図表 35、図表 36で示したようなロス近郊にある日本車に特化自動車修理・整備工場を訪問し、日本で使った回収マニュアルの英語版をベースに特定の車を持ち込んで、そこからの特定部品を回収する作業の可能性についてヒアリングした。結果、現在行っている修理のための部品交換と大差ない事が判明し、時間払い（約5千円/時）にて作業可能との結論となった。

図表 35 日本車ミッション修理専門工場



図表 36 内部



オークションやディーラーから2世代プリウスを購入し、自動車整備工場にて風車向け特定のHVユニットを回収するスキームが十分成り立つ事可能性のある事が検証された。

今後は、実際に車を確保して、回収を実施し、回収後の車の処理（売却益）や回収した部品の梱包・輸送費も考慮したスキームの経済性詳細について実証を行う必要がある。

IV-2. モンゴル・ウランバートル

モンゴルでは、5年前から進出した日系解体業者の協力を得て今回の調査を行った。モンゴル中古車自動車市場モンゴルでは、環境保護を促進するため、輸入車に対する税金の内、環境車（HV, PHV, E V E V）については、贅沢品に対する税金（約15%）を免税としていた。このため、環境車でも特に人気の高い2世代プリウスの輸入に拍車がかかり、特に首都ウランバートルで走っている自動車約15万台の内、9万台がプリウスという異常に高いシェアとなっている。昨年4月よりこの免税措置が、7年以上の高年式車に対しては、廃止となったため、特に2世代プリウスの輸入税が増加した結果、モンゴル国内での中古車価格が、高止まりとなっている。図表37で示した、ウランバートルでの中古車展示即売会場で調査したところ、2世代プリウスの中心価格は、50万円程度であり、日本と比べても高額であった。

図表 37 ウランバートル市内中古車販売会場



1 回収スキームの構築

中古車の価格高止まりのために、日本や米国のような、まずは車を確保してそこから必要な部品を回収するスキームは断念。一方で、ウランバートル市内に数多く存在するプリウス専門の「Prius Service shop」（図表 38図表 39）を訪問すると、中古部品として、風車のリマンに不可欠である「モーター」が多数置かれているのが確認できた（図表 40）

図表 38ウランバートル市内プリウスサービスショップ



図表 39 同市内プリウス解体ヤード



図表 40 サービスショップ内部



上記部品は、過去に中古車として輸入されて最終モンゴル国内で廃車となった車
或いは事故車から回収された物、又は、中古車と並行してその整備のために輸入さ
れた中古部品の中で売れ残った物であると推定される。

平行して、モンゴル国内にネットワーク持つ自動車中古部品販売大手業者（図表
41）へも販売して、モーターやインバーターの流通についてヒアリングを行った。

図表 41 MONBET社ウランバートル市内本社ビル



結果、モーターについては、7千円/個（日本では、5万円）、インバーターは、5千
円（同、3万円）にて数百個単位で買い付けが可能である事が判明した。従って、該
国では、HVユニットリユースに使う単品での確保が十分可能である事が確認された。
輸送コストも調べた結果、コンテナにバラ積みで200個程合積みすれば、日本まで

の輸出税含めた諸掛りが、約500円/個であるため、このスキームにて経済的の十分成り立つ事を検証した。

今後は、実際の輸出入の手続、輸入した部品の品質、性能評価等を実際に実証して評価する必要があるものとする。

IV-3. 課題と今後の見通し

米・ロサンゼルス、モンゴル・ウランバートルにて回収の仕組み作りのための調査を行い、実現可能なスキームについて机上にてアイデアを構築したが、今後は、実際に実証を行い検証する必要がある。又、本年度実施計画で予定した、欧州特に、英国でもプリウスは、15万台以上販売されており、該国での調査も今後実施したい。

V. 小型風車実証試験による事業化モデルの構築とシステムのブラッシュアップ

本章では、まず、①V-3. で実証中の小型風車実機をモデル化して、シミュレーターを構築し、パワーカーブのチューニングを行った。次に②として性能アップの為の対策を施した。その後③、ブラッシュアップのためのデザインレビューを行った。最終レビューにより最適化された風車設計仕様に対して、④荷重解析、⑤強度検討、⑥共振検討を行い、最終⑥システム全体仕様書のとりまとめを行った。又、認証相当試験による評価も同時に行った。

V-1. アルゴリズム開発

1 プロト2号機のモデル化

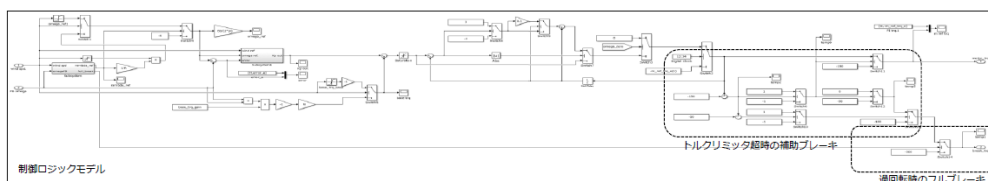
1-1 制御ロジックモデルの修正

プロト1号機ですでにモデル化していたものにメカブレーキ採用を反映。

従来運転中はメカブレーキ使用せず。

- ・ トルクリミッタを超える制動が必要な場合は電空レギュレータを用いた2段階の補助ブレーキを使用する。
- ・ 超えた量が0～50Nmまでの場合は50Nm、50Nm～の場合は100Nmを補助ブレーキで加える。
- ・ それでもブレーキ量が不足したり応答遅れが発生したりしたときに過回転が発生した場合は、フルブレーキで回転数を抑制する。

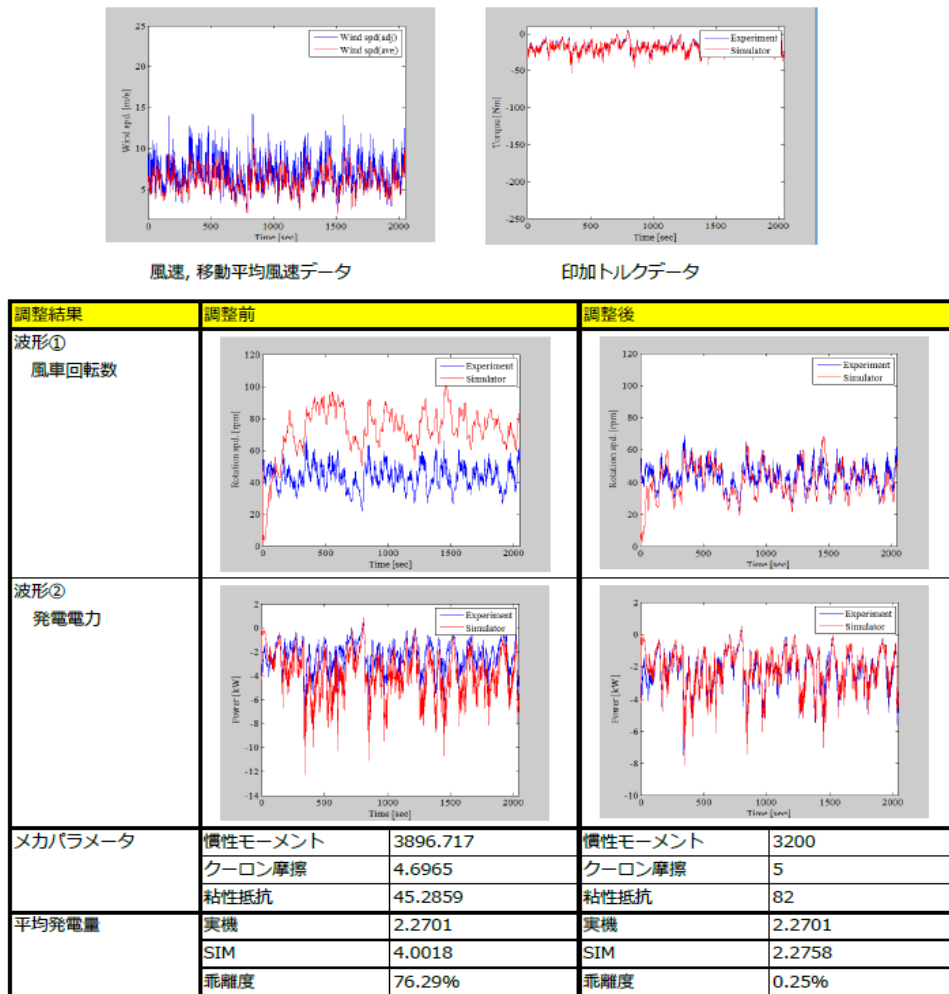
図表 42 制御ロジックモデル



1-2 風車メカモデルの調整

まずプロト1号機の実機データで調整したメカモデルに2号機のトルクカーブを適用。次にプロト2号機の実機データで調整。調整は実測の風速、移動平均風速データと実際に印加したトルクデータをインプットデータとし、慣性モーメント、クーロン摩擦、粘性抵抗を変化させてシミュレーション結果を実機データに近似させていく。平均発電量が1%未満を目標。

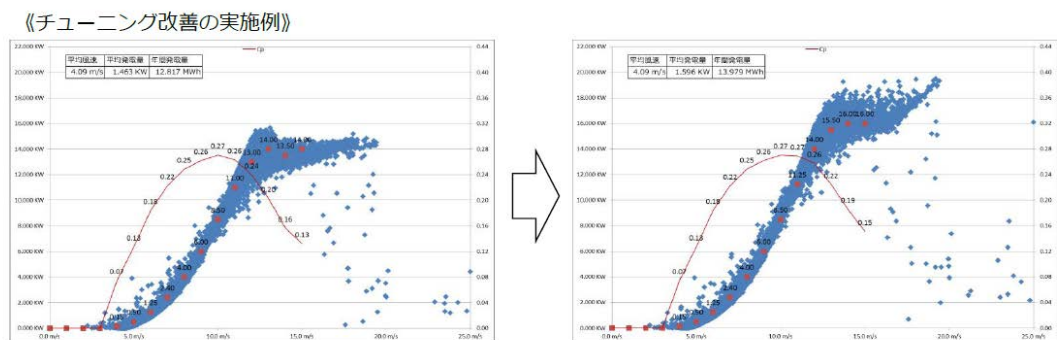
図表 43 風車メカ、モデルの調整



2 パワーカーブチューニング

- ・ 前項での改造が行われるので、改造後に再び実機データ収集し、メカパラメータの再調整を行う。
- ・ パワーカーブチューニングはそれから進める。

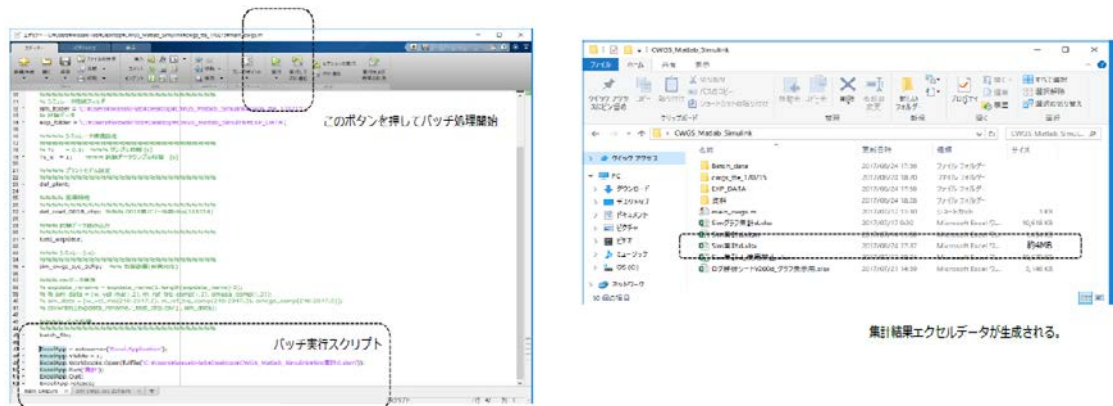
図表 44 チューニング改善の実施例



3 年間発電電量推定(仕組み作り)

- ・ Matlabの中にエクセル集計マクロを呼び出すスクリプトを挿入。
- ・ ワンクリックでシミュレーション～集計までバッチ実行できる環境となった。
- ・ 最終結果は4MBほどのエクセルデータとなり、メール添付可能なサイズ。

図表 45 Matlabリフト内容



V-2. 性能アップ

1 風車軸及び総合での引き摺りトルク測定

本実証中の8月中旬に風車を解体した際に、デフ、HVをも含めた、風車軸以降のユニット全体の引き摺りトルクを測定する為、風車分解の途中翼を外したところで、ストラットにロープをかけてデジタルプルゲージにて引き摺り荷重を測定した
更にブレーキディスク下のペラジョイントを外して、風車軸単体での引き摺りトルクを測定した。

計測はプレートタイプのトルクレンチを使用し、ほぼ無風状態の中順方向及び逆方向共に測定したがどちらも同じ**15Nm**であった。

更に

図表 46 ユニット引き摺り実測値

測定回数	起動トルク	定常トルク
1	13.9 kgm	4.0 kgm
2	14.2	5.0
3	15.2	5.0
平均	14.4	4.7
換算値	141Nm	46Nm

定常トルク 46Nm は図表 46 の「デフ+HV システム」の定常トルク 30Nm と、風車軸の定常トルク 15Nm の合計値 45Nm とほぼ一致した。

2 メカ的な不良

前述の引き摺りトルクは予想していたものより大きかったので、翼形状変更の際に分解点検したところ、ブレーキキャリパーの一部が風車軸に接触していたことが判明、修正した。

3 引き摺りトルクの測定

次にHVユニットの引き摺りトルクをプロト1号機とプロト2号機とを比較しながら測定した。(図表 47)

図表 47 プロト1号機 白矢印の方向にプルゲージで引っ張り測定



プロト1号機については、風車連結軸にG クランプを噛ませ、そのハンドル部に紐をかけてデジタルプルゲージにて引っ張りその値を測定した。紐を結びつけた点は軸中心から0.21mであった。HVユニットを連結した時と、切り離れた時の両方を測定した。

図表 48 プロト1号機引き摺り荷重実測データ

実測値：計測機 デジタルプルゲージ 2017 年 7 月 27 日					(単位 ; Kg)	
#1 号機	① デフ+HV システム		② デフのみ		HV システムのみ (①-②)	
測定回数	起動荷重	定常回転荷重	起動荷重	定常回転荷重	起動荷重	定常回転荷重
1	16.0	6.0	2.8	2.0	13.2	4.0
2	15.0	5.0	2.6	2.0	12.4	3.0
3	17.0	7.0	2.4	2.0	14.6	5.0

4	16.0	6.0	2.5	2.0	13.5	4.0
5	16.0	6.0	2.7	2.0	13.3	4.0
平均	16.0	6.0	2.6	2.0	13.4	4.0
s	0.8	0.8	0.1	0.0	0.9	0.8
X+3s	18.4	8.4	3.0	2.0	16.1	6.4
	実測値		実測値		計算値（参考値）	

*HVのみは直接測定できなかったもので①から②を差し引いたものを値とした

図表 48の荷重実測値に腕の長さをかけてトルクに変換した表を下記図表 49に掲げる。

上の表で「①-② HVシステムのみ（計算値）」はデフで減速（トルクとしては増大）されており、それを補正すると；

起動トルク：13.4／3.58（減速比）=3.7kg ⇒ 3.7×9.8×0.21=7.6 Nm

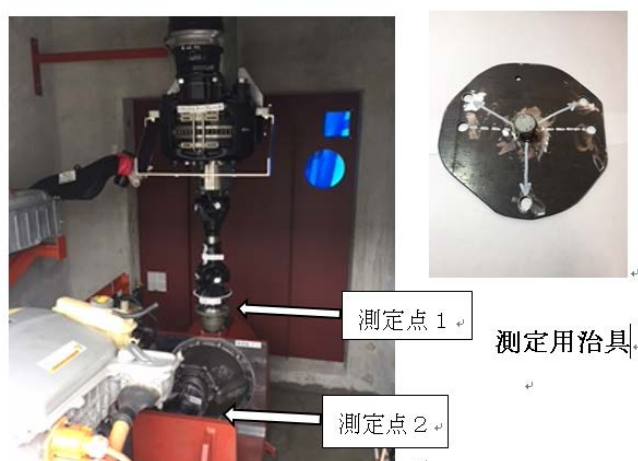
定常トルク：4.0／3.58 = 1.1kg ⇒ 1.1×9.8×0.21= 2.3 Nm

図表 49 プロト1号機引き摺りトルク計算値 単位：Nm

#1号機	① デフ+HV システム		②デフのみ		①-② HV システムのみ	
測定回数	起 動 ト ル ク	定常トルク	起動トルク	定常トルク	起動トルク	定常トルク
1	32.9	12.3	5.8	4.1		
2	30.9	10.3	5.4	4.1		
3	35.0	14.4	4.9	4.1		
4	32.9	12.3	5.1	4.1		
5	32.9	12.3	5.6	4.1		
平均	32.9	12.3	5.4	4.1	7.6	2.3
s	1.7	1.7	0.3	0.0		
X+3s	38.0	17.4	6.3	4.1		

プロト2号機ではブレーキとデフを連結するユニバーサルジョイントを外し、フランジに測定用治具を取付けプレート型トルクレンチで測定した。測定点1では総合とデフ単独を、デフとHVユニットを切り離し後測定点2でHVユニット単独値を測定した。（図表 50、図表 51）

図表 50 2号機の測定



図表 51 プロト2号機引き摺りトルク実測データ

実測値：計測器トルクレンチ(プレートタイプ) (計測日；2017年7月28日@田原サイト)					単位；Nm	
#2号機	①デフ+HV システム		②デフのみ		③ HV システムのみ	
測定回数	起動トルク	定常トルク	起動トルク	定常トルク	起動トルク	定常トルク
1	90	30	20	5	10	3
2	110	30	22	5	10	3
3	100	30	20	5	10	3
4	100	30	19	5	10	3
5	95	30	19	5	10	3
平均	99.0	30.0	20.0	5.0	10.0	3.0
s	6.3	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0
X+3s	117.9	30.0	24.2	5.0	10.0	3.0

以上の測定結果を基に、プロト1号機と2号機の引きずりトルクをまとめて比較してみた。その結果を図表 52に掲げる。

図表 52 プロト1号機と2号機の引き摺りトルク比較

	①デフ+HV システム		②デフのみ		③ HV システムのみ	
	起動トルク	定常トルク	起動トルク	定常トルク	起動トルク	定常トルク
#1号機	32.9 Nm	12.3 Nm	5.4 Nm	4.1 Nm	7.6 Nm	2.3 Nm
#2号機	99 Nm	30 Nm	20 Nm	5 Nm	10 Nm	3 Nm

1号機ではデフの減速比が3.58であるので定常でのトルクを計算すると；

デフ+HV： $2.3 \times 3.58 + 4.1 = 13.3 \text{ Nm}$ となる。

実測値12.3Nmの方が小さいが測定誤差があると考えられる。

2号機ではデフの減速比が6.4であるので；

デフ+HV： $3 \times 6.4 + 5 = 24.2 \text{ Nm}$ となる。

実測値は30Nmでありその差は5.8Nmで、デフ前換算で $5.8 / 6.4 = 0.9 \text{ Nm}$ の差があるが、CVジョイントの引き摺りトルク分と測定誤差が含まれると思われる。

1号機と2号機を比較すると、HVユニット及びデフの単独での引き摺りトルクは、1号機の方がどちらも僅かに小さい。統合したトルクではデフの1号機の方が半分以下になっているが、これはデフの減速比の違いが効いている。

2号機の定常トルクを低減するには、使用しているデフの減速比を変更するのも有効である。デフのギア比を使用中の6.43から3.9に変更した場合の試算結果を図表 53に掲げる

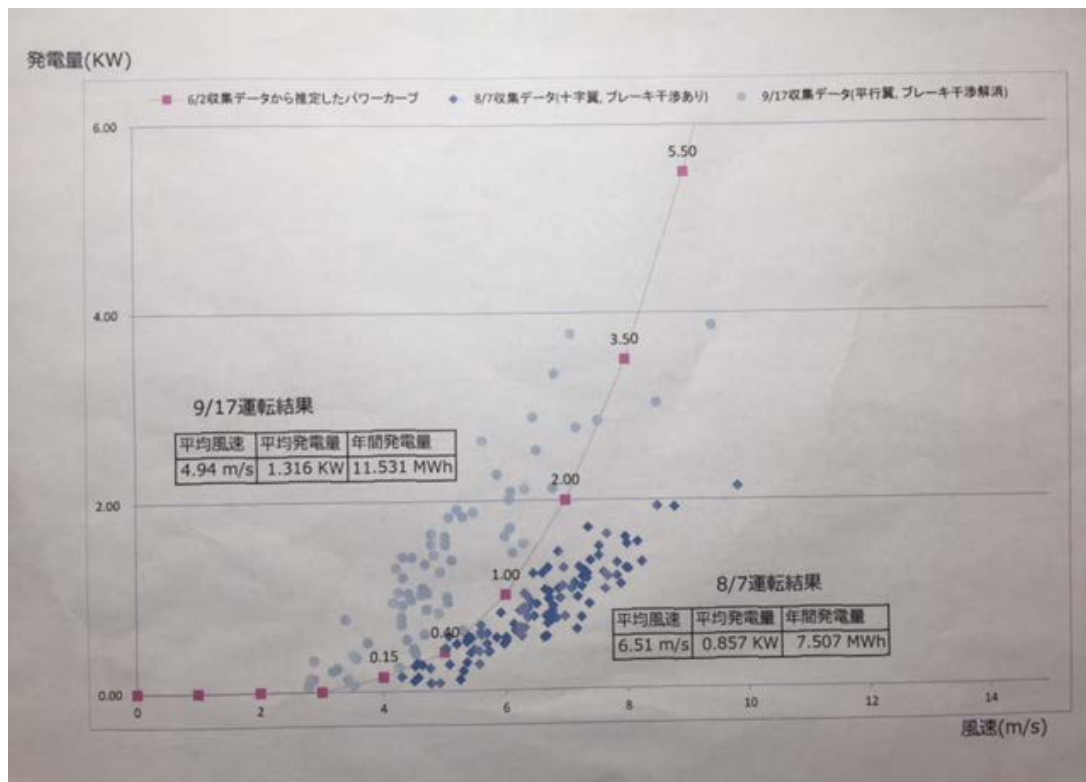
図表 53 デフのギア比を変えた場合の試算（単位：Nm）

	HV システム 単体	ギア比	換算値	デフ単体	HV+デフ 合計
#1号機	2.30	3.58	8.23	4.12	12.35
#2号機 変更前	3.0	6.43	19.3	5.0	24.3
#2号機 変更後	3.0	3.90	11.7	5.0	16.7

デフギア比を変更した場合、システムの引きずりトルクは大幅に減少するが、それに伴い発電機の回転数が低下し、発電機の運転範囲が最も発電効率の良い範囲から外れてしまう。どちらが得かは更に精査が必要であり、他の要因を潰した上で実施するかどうか判断することとして今回はギア比の変更は保留することとした。

4 引き摺りトルク改善の効果

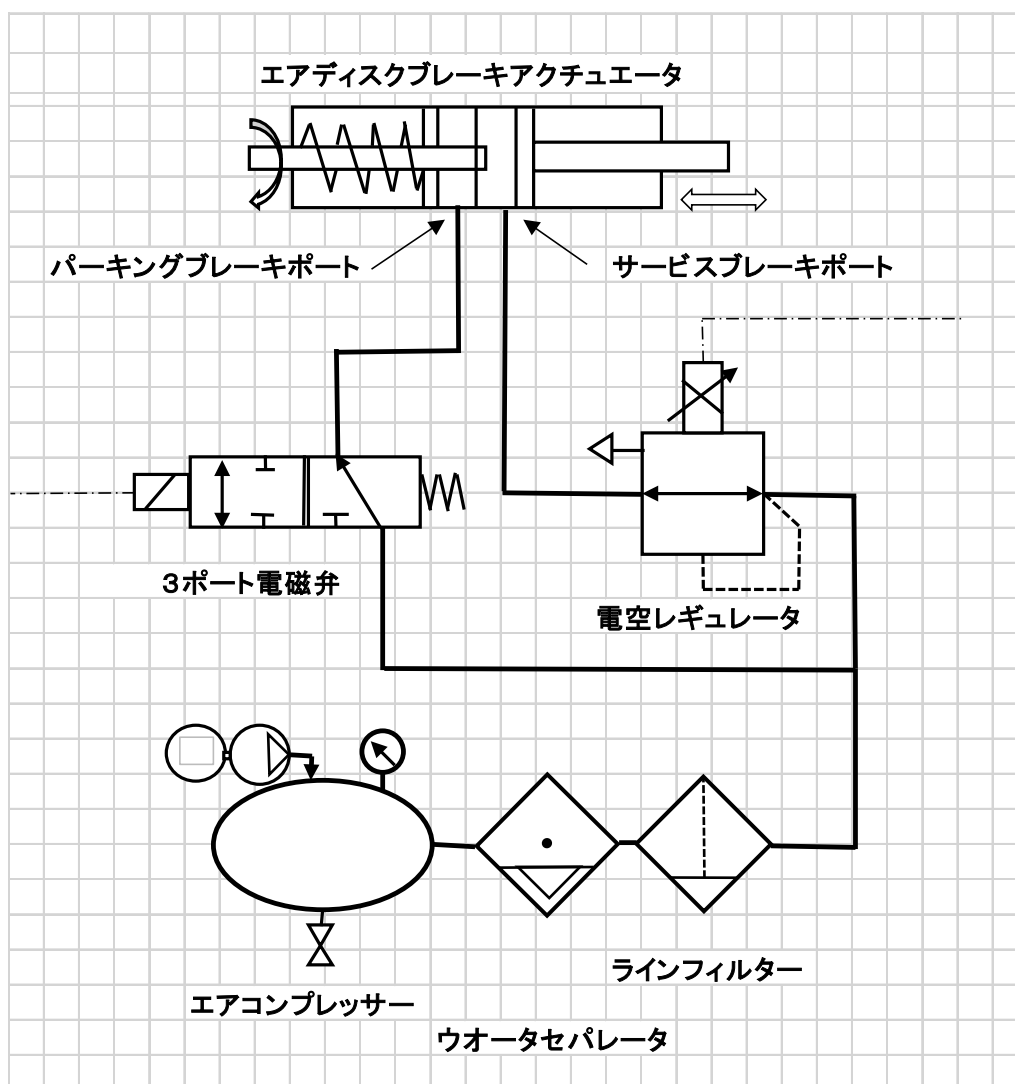
図表 54 引き摺りトルク低減による効果



図表 54で「8／7運転結果」は引き摺りトルク改善前で、改善後のデータは「9／17運転結果」で表されている。その差は明らかで、改善後は同風速で改善前の2から3倍の電力を発生している。

エアブレーキ用圧縮空気システム電空レギュレータを採用した圧縮空気システムを図表 55に示す。

図表 55 エアディスクブレーキ用圧縮空気システム



全体システムが運転状態になると同時に、ソレノイドバルブが「ON」となり、エアディスクブレーキのポート12に圧縮空気が供給され、バネを押上げてパーキングブレーキが解放される。

運転中の制動、半制動は電空レギュレータからポート11に送られる圧縮空気によりレギュラーブレーキを作動させることにより行われる。緊急停止や停電など何らかの理由でソレノイドバルブへの通電が失われると、ソレノイドバルブは「OFF」となり、ポート12より圧縮空気が排出され、バネの力によりブレーキが作動する。

5 エアディスクブレーキの制御について

レギュラーブレーキ、パーキングブレーキ及びそれらを駆動する圧縮空気を供給するエアコンプレッサーの制御、特に停電時と故障時に際しての動きについて図表56にまとめた。

図表 56 エアディスクブレーキの制御について

	使用する制御機器	制御信号系	停電時の状況	制御機器の故障
レギュラーブレーキ	電空レギュレータ ITV-1050-402BS (SMC社製)	TOYOPUC~DC24V 4ポイント制御 ① 圧力 0 - ブレーキ開放 ② 任意設定可 - 半ブレーキ ③ 同上 同上 ④ 圧力0.8MPa - フルブレーキ	停電時はUPSが作動し制御は可能 コンプレッサーが停止、圧力が低下 して最終的にはレギュラーブレーキ は開放となる。	電空レギュレータが故障する場合、 制御系が作動せず弁が開かなくな ることが多い。この場合ブレーキは 開放状態になる。
パーキングブレーキ	3ポート電磁弁 VX3324V-02-6GI-B	DC 12V ON/OFF 制御 ON: バルブ開-ブレーキ開放 OFF: バルブ閉、チャンバー内 空気放出-ブレーキ作動	停電時はUPSに連結していない場合 OFFとなりブレーキが作動する。 UPSに連結している場合でも、コン プレッサーが停止し、圧力が低下す ると、0.6MPa以下でブレーキが作動 し始め、最終的には全制動状態とな る。	ソレノイドが故障した場合、バルブ は閉となりブレーキが作動する。 故障の際急激にブレーキがかから ないよう、放出口にスピコンを設置 する。
エアコンプレッサー	18ℓ/min.x1.0MPa TFP02C-10CM (ANEST IWATA)	AC 100V 1.0 Mpa : OFF 0.8 Mpa : ON	停電すると、コンプレッサーは停止 し、圧力の低下に伴い、0.6MPa以下 になるとパーキングブレーキが効き 始める。	

6 エアディスクブレーキの応答性について

エアディスクブレーキの応答性につき、ブレーキを作動させる圧縮空気系の流量とブレーキのアクチュエータのダイアフラムの容積から推算、その結果を実機の作動時間を測定して確認した。

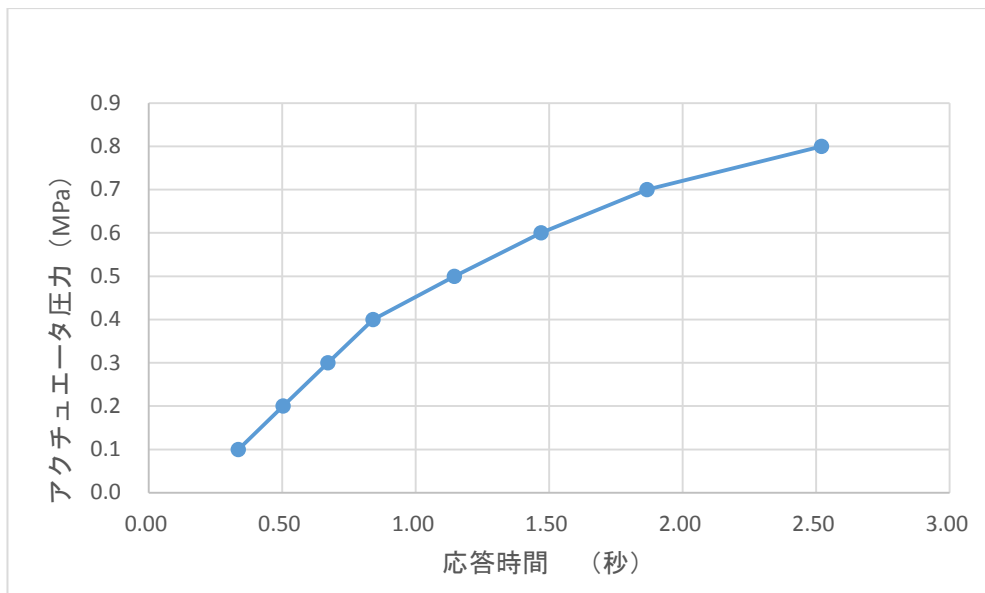
6-1 レギュラーブレーキ

電空レギュレータの流量特性から、所定の圧力までダイアフラムが何秒で膨らむかを推定した。アクチュエータの容積は直径140mmと最大作動長さ60mmから900mlと計算されるが、実際にはその3/4程度で作動力はほぼ最大になるので、有効容積として700mlで計算した。

電空レギュレータITV105シリーズの流量は0.8MPaで150ℓ/min. (ANR)なので、0.8MPaでは16.7 ℓ/min. となる。従って700mlのダイアフラムをいっぱいにするには ; $(0.7 / 16.7) \times 60 = 2.5$ となり2.5秒かかることになる。

この応答速度をグラフに示したが、横軸がブレーキ操作を開始してからの経過時間、左縦軸がアクチュエータの空気圧である。(図表 57)

図表 57 ITV105使用時の応答性(加圧時)



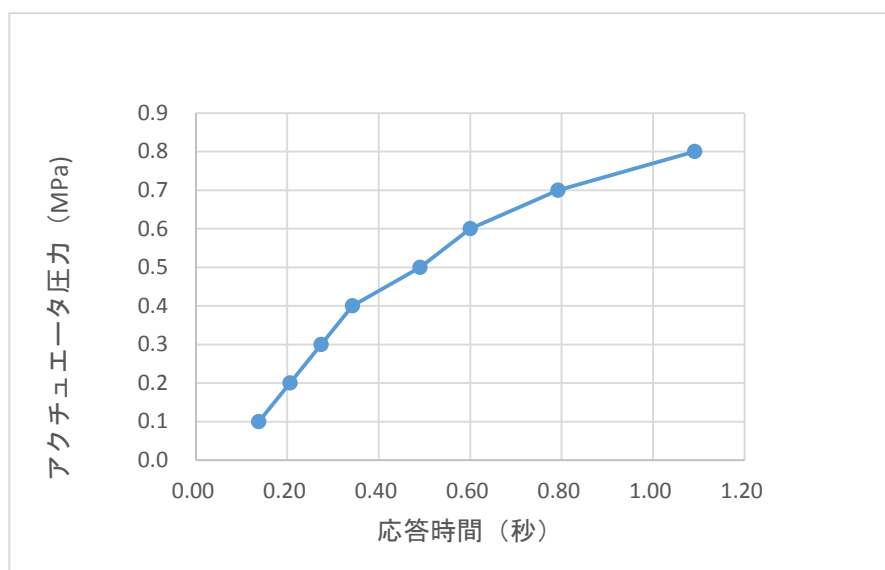
設定圧0.1MPaでは同様に計算して0.34秒、0.4MPaでは1.15秒となり、これらの数字は電空レギュレータの圧力表示をストップウォッチで計測した値に概ね一致している。

ただブレーキは0.1MPa以下で効き始めるので、見た目にはスイッチを入れたと直にブレーキがかかったように見える。そしてディスクを挟み込む力が増加してゆき2.5秒後に最大値10,000N (at 0.8MPa) に達する。

現状の機器構成ではこの応答速度が最速というか最短であり、これ以上短縮はできない。応答速度を遅くすることは電空レギュレータ後に設置したスピードコンローラー（以下スピコン）を調整することでかなりの範囲まで可能である。

応答速度をもっと早くするためには、空気流量の大きな電空レギュレータに変更しなければならない。現在使用しているITV - 105の代わりに、1ランク大きなITV - 205を使用すると、レギュレータの空気流量は約5倍となる。ただし流量が増加すると配管及び機器の流動摩擦抵抗が、流速比の二乗で増加する為、応答速度はレギュレータの流量比の平方根に対応すると考えられる。ITV-205を使用した場合の応答速度はそれに基づき計算したものである。（図表 58）

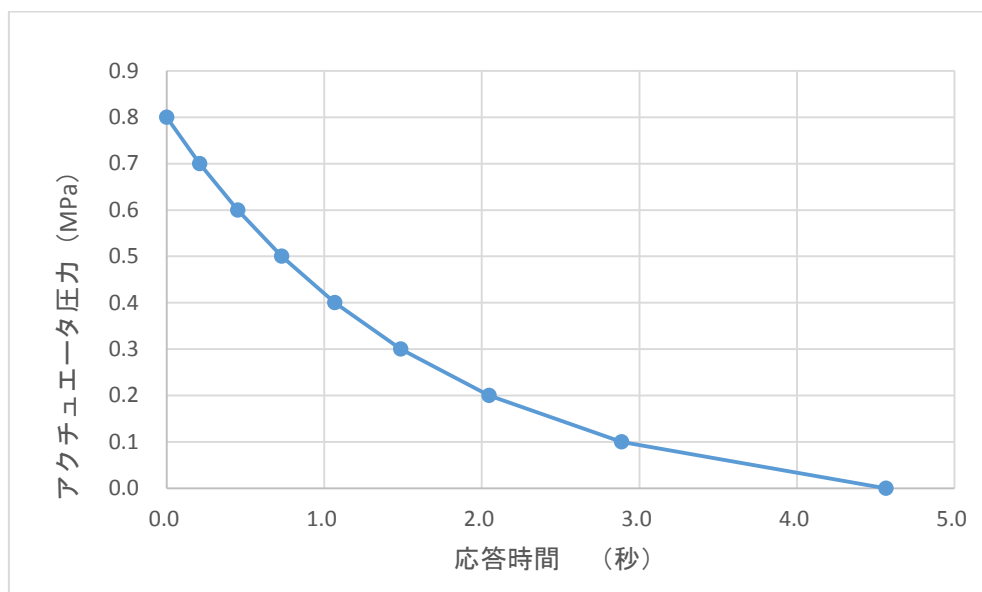
図表 58 ITV205使用時の応答性(加圧時)



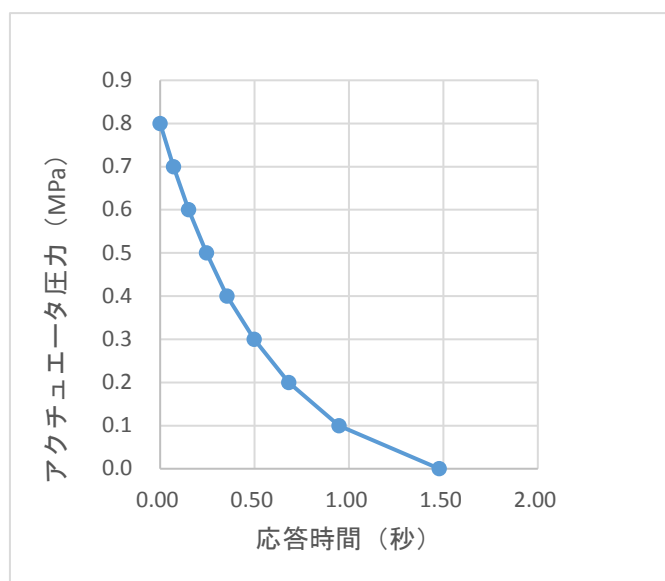
ブレーキを解放する場合はかける時より時間がかかる。開放の信号を受けると電空レギュレータからエアをパージして減圧するが、この流量はレギュレータのリリーフ流量に近いが、背圧が減少してゆくため低圧での流量は更に小さくなる。この排出流量が小さいためブレーキが完全に解除されるまで、即ち圧力が0.8Mpaから0.05MPa以下にまで低下するには4秒程度要する。これも圧力計の指示をストップウォッチで計測して確認している。

電空レギュレータをITV - 205に変更した場合の開放時間は1.5秒程度と推定され、これはその後実測にて確認された。(図表 59)

図表 59 ITV105使用時の応答性(減圧時)



図表 60 ITV205使用時の応答性(減圧時)



SMC社電空レギュレータの応答性に関する実験データが入手でき、それと比較すると、加圧では少し遅く、減圧では少し早くなっている。これはブレーキのアクチュエータではダイアフラムに戻しスプリングが入っており、これが加圧の際には抵抗となり、減圧の場合には補助力として働いているためである。

ITV105では応答速度が特に開放時に遅く、応答性に支障が生じることが予想されたため、ITV205を使用することとした。

6-2 パーキングブレーキ

パーキングブレーキはダイアフラム容積1.5ℓで圧力0.6MPa以上で解放される。通常開放状態ではダイアフラム内の圧力は0.8MPaに維持されている。このパーキングブレーキ操作に使用しているバルブは、直動型3ポートソレノイドバルブ (VX3324V-02) で、その流量は、上流側圧力0.8MPa、下流側圧力0MPa (大気開放) の場合で300ℓ/Min. (ANR) である。このデータから開放状態からブレーキが掛かり始めるまでの時間を計算すると、0.6秒となる。実際にはバルブ以外の配管抵抗などがありこれより長くはなるが、実動させた状況からしても1秒前後である。

7 アクチュエータ圧力とブレーキ力の関係

アクチュエータ圧力とブレーキ力の関係は、アクチュエータ (図表 60) 中のグラフに示されている。アクチュエータの動作範囲15mmから50mmで、0.15MPaで1,500N、0.85MPaで10,000Nでありその範囲内ではほぼ直線的に比例している。

V-3. デザインレビュー

1 風車設計仕様の決定

昨年度机上にて評価した風車設計仕様に基づいて、愛知県田原市にプロト2号機を設置して、実機による実証と本章（V-1. 1項）で作成したシミュレータを利用してシステム評価を行う事によりブラッシュアップを実施した。

実証中に図表 61にあるように2回のデザインレビューによる風車の改造行った。

1回目は、2017年7月、2回目は、2017年12月に実機の改造を行い、本事業期間（2017年6月から2018年1月）を通じて実証を行った。その間特に2017年10月には、3回の台風化、最大で風速20m/s下での運転や、35m/sでの停泊も経験した。

図表 61

交差2枚翼



平行2枚翼



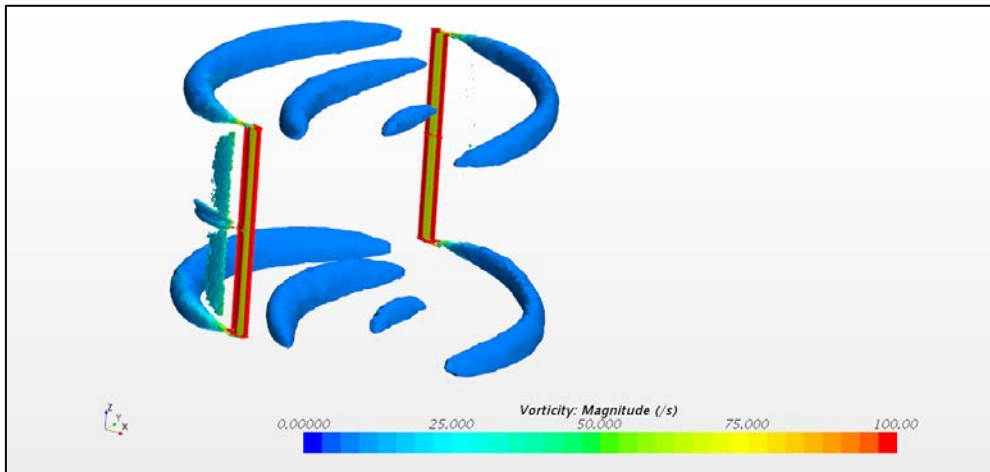
平行3枚翼



2 交差2枚翼から平行2枚翼への改造

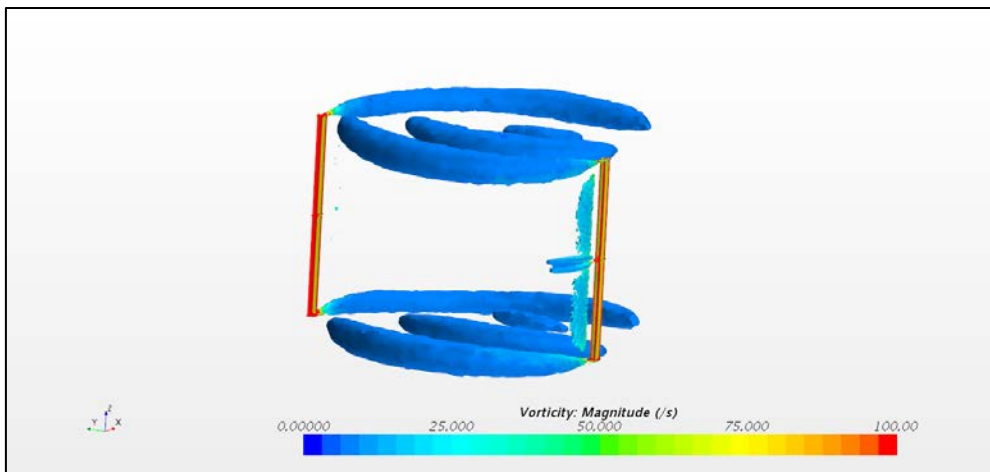
図表 62、図表 63、図表 64から参照できるように、交差2枚翼で風車が回転すると翼の上下にて風を受けた後の渦が発生し、特に上段翼の下部と下段翼の上部に発生した渦が清流に戻る前に次の翼にあたるため干渉が起こり、本来の風が持つエネルギーが風車の持つ回転とトルク、つまり出力として変換されず、性能ロスとなる事が解析と実機による測定で判明。

図表 62 平行2枚翼の渦度カラーグラデーション その1



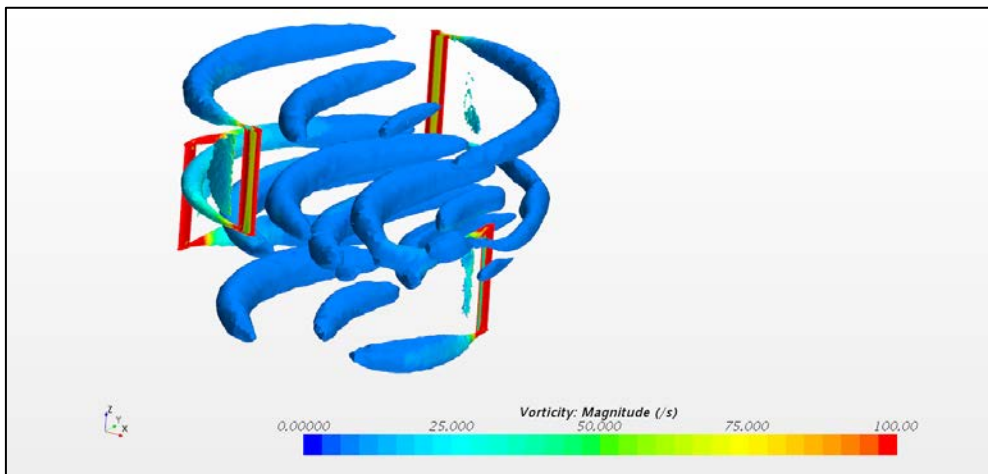
- 並行配置モデル(Parallel Rotor)における Q 値等値面 ($Q=10s^{-2}$) と、その等値面上の渦度をカラーグラデーションで表示。主流方向は図中の矢印方向。

図表 63 平行2枚翼の渦度カラーグラデーション その2



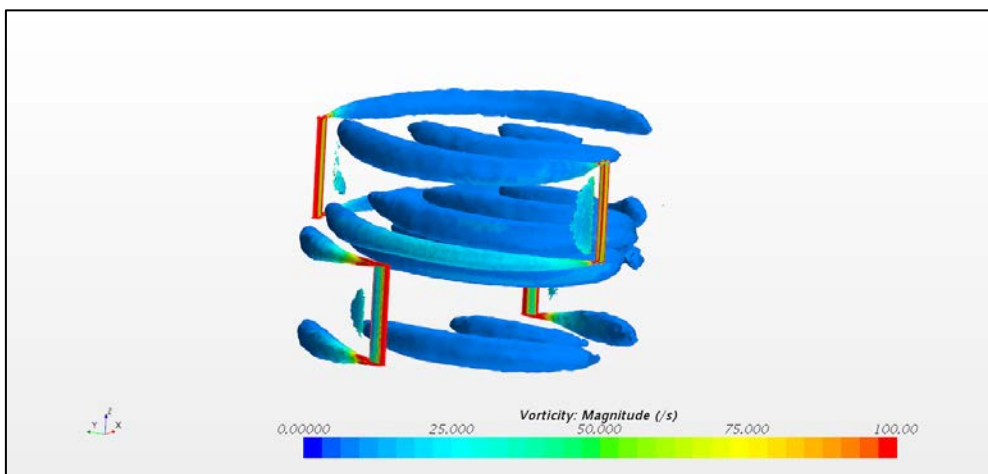
- 並行配置モデル(Parallel Rotor)における Q 値等値面 ($Q=10s^{-2}$) と、その等値面上の渦度をカラーグラデーションで表示。主流方向は図中の矢印方向。図表 62 とは見る向きだけが異なる。

図表 64 交差2枚翼の渦度カラーグラデーション その1



- 交差配置モデル(Cross Rotor)における Q 値等値面 ($Q=10s^{-2}$) と、その等値面上の渦度をカラーグラデーションで表示。主流方向は図中の矢印方向。

交差2枚翼の渦度カラーグラデーション その2



- 交差配置モデル(Cross Rotor)における Q 値等値面 ($Q=10s^{-2}$) と、その等値面上の渦度をカラーグラデーションで表示。主流方向は図中の矢印方向。その 1 とは見る向きだけが異なる

この事実を再度、鳥取大にて解析（図表 65）して翼デザイン平行2枚翼に改造する事により約15%の出力アップになる事が検証された。

図表 65 交差2枚翼と平行2枚翼の性能比較

交差配置モデルの7回転目の平均特性

平均トルク(Nm)	トルク係数
1300	0.07595
風車平均出力(W)	出力係数
12710	0.3039

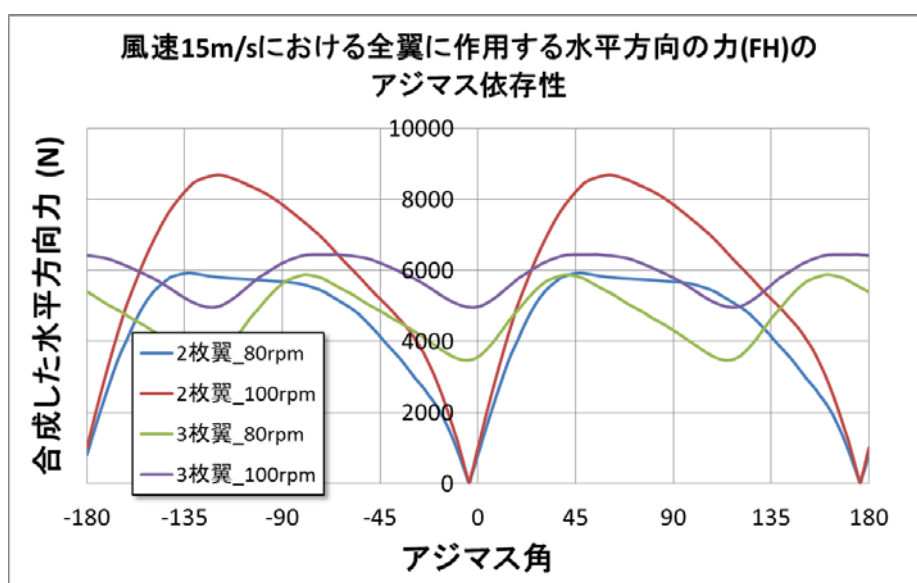
並行配置モデルの7回転目の平均特性

平均トルク(Nm)	トルク係数
1501	0.08775
風車平均出力(W)	出力係数
14683	0.3511

3 平行2枚翼から3枚翼への改造

平行2枚翼での実証中に10月に2度台風に遭遇し、30m/sを超える超高風速時での風車停止時における耐久性と20m/s前後での高風速域での性能試験を行った。風速20m、回転95rpmにて非常停止時、共振に近い現象が発生。原因究明のために同条件にて翼に発生する加振力の解析を行った。（図表 66）

図表 66 交差2枚翼と平行2枚翼の荷重比較

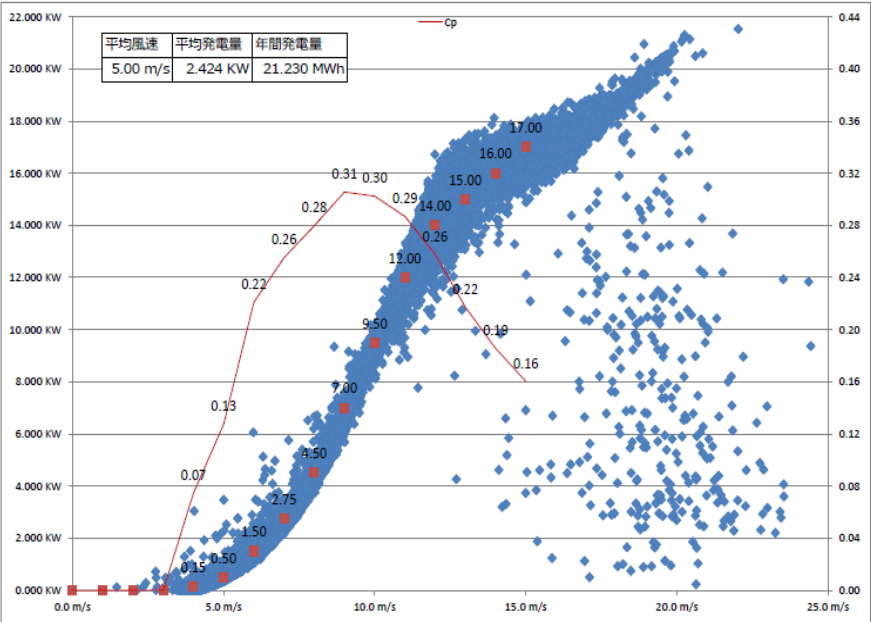


図表 66から分かる通り、2枚翼の場合は、9000Nm近いの高い加振力が水平方向にかかる事、3枚翼にすれば、トルクバランスが大幅に改善されて、5000Nm以下まで下がる事が確認され、加えて、3枚翼にする事によるレイノルズ数の増加により風車全体のSolidity gが増加し、特に低速での発電性能向上につながる事より、3枚翼への改造を決定した。

4 実証評価

3枚翼に変更した風車に性能評価した結果、図表 67に表すパワーカーブとなった。

図表 67 2回目改造後の風車性能(パワーカーブと年間発電量)



これにより、昨年机上で検討した際の目標発電量である風速5m/ s にて2万kWhに対して6%性能が高い、21, 230kWhが実測された。

5 市場環境の変化による更なるデザインレビューの実施

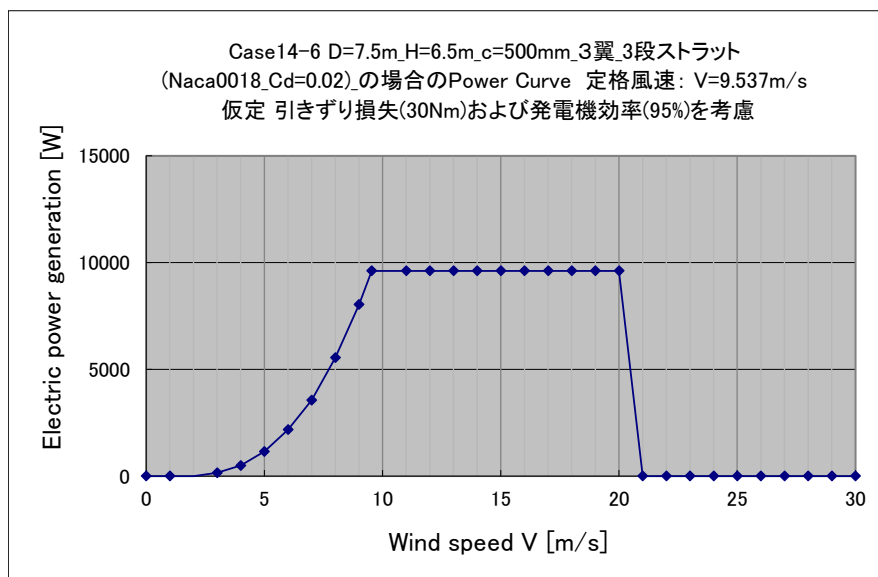
実証事業実施中に来年度小型風車に対する「固定価格買取制度」の見直しが発表され、従来からの20KWの小型風車のカテゴリが撤廃となるとの情報を入手。従って、20KWに囚われず、低圧連系（50KW以下）でのコストパフォーマンスを最大とすべく風車仕様を最適化するためのデザインレビューを行った。先ずは、図表 68通り、翼にサイズによる発電シミュレーションを実施した。

図表 68 各ケースのロータ形状設定値と主要計算値

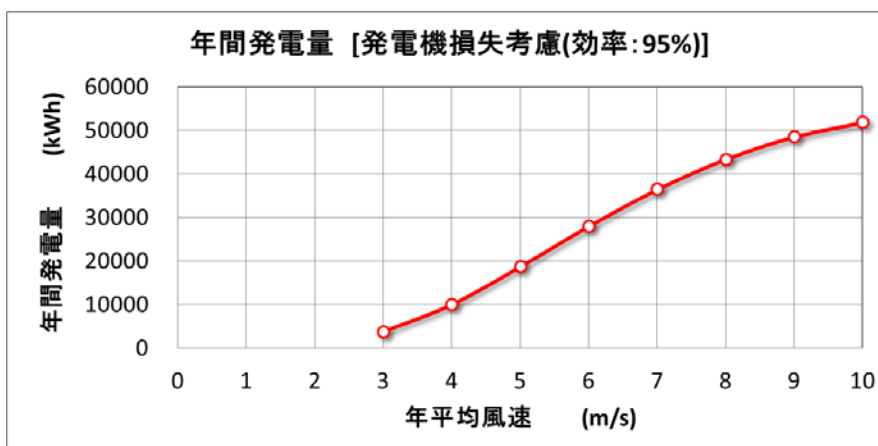
風速:V=11m/s									風速:V=12m/s					V=60m/s	備考
Case No.	H(m)	D(m)	Strut	TSR	N (rpm)	Pm(kW)	AEP(MWh)	Cutout(m/s)	TSR	N (rpm)	Pm(kW)	AEP(MWh)	Cutout(m/s)	Rotor Q(Nm)	Strut Pos.
0	5.7	8.9	4						3.5	90.1	19.97	21.0	15	14648	±2.0m, ±0.65m
1	6.0	6.6	2						3.3	114.5	17.53	18.7	15	10874	±1.25m
2	7.0	5.5	2						3.2	133.2	17.46	18.3	15	10032	±1.25m
3	6.0	6.6	3						3.3	114.5	16.87	17.8	15	10843	0m, ±1.75m
4	6.0	7.2	2	3.4	99.1	14.70	20.0	20	3.4	108.2	19.23	20.5	20	12109	±1.25m
5	6.5	6.5	3	3.3	106.6	14.02	18.9	20	3.3	116.3	18.4	19.5	20	11517	0m, ±1.5m
6	6.5	7.2	3	3.4	99.1	15.59	21.1	20	3.4	108.2	20.39	21.7	20	13069	0m, ±1.5m
7	6.5	6.5	3	3.3	106.6	14.02	18.9	20						11518	0m, ±1.85m
8	6.5	6.6	3	3.4	108.1	14.23	19.3	20						11740	0m, ±1.85m
9	6.5	6.7	3	3.4	106.5	14.50	19.6	20						11961	0m, ±1.85m
10	6.5	6.8	3	3.4	105	14.74	19.9	20						12183	0m, ±1.85m
11	6.5	6.9	3	3.4	103.5	14.97	20.2	20						12405	0m, ±1.85m
12	6.5	7.0	3	3.4	102	15.18	20.5	20						12626	0m, ±1.85m
13	6.5	7.1	3	3.4	100.5	15.39	20.8	20						12848	0m, ±1.85m
14	6.5	7.5	3	3.4	95.2	16.19	21.9	20						13735	0m, ±1.85m
14-2	6.5	7.5	3	3.5	89.1	12.09	20.9	20						13735	0m, ±1.85m
風速:V=10m/s															

図表 68でのシミュレーションと平行して各ケースでの共振点も解析し、性能と共振リスクが両立するケース模索、最終、図表 68中のケース14-2を選択し、さらにブラッシュ加えた結果、図表 69の新風車のパワーカーブと図表 70の年間発電量解析となった。

図表 69 新デザインのパワーカーブ



図表 70 新デザインの風速別年間発電量



6 まとめと今後の見通し

合計3回によるデザインレビューを行った。内2回は、実機を実際に改造して実測データを収集し、評価を行えた。最終的に、コストパフォーマンスが高く、共振等風車固有のリスクも排除した風車デザインに最適化できた。但し、最後のデザインはあくでも机上での評価ゆえ、今後実機での実証が必要と考える。

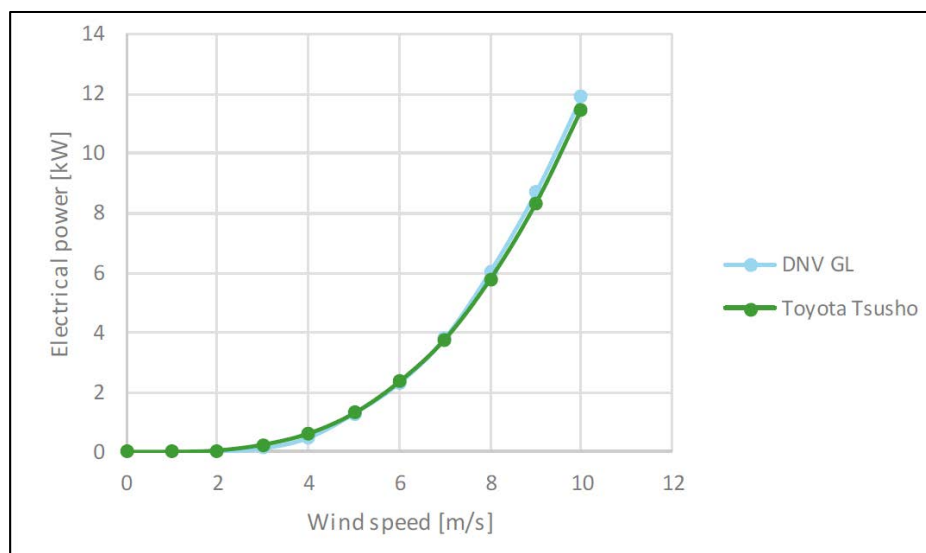
V-4. 荷重計算

DNV・GL社によって荷重計算行われた。前提条件として、新風車デザインを対象とした。国際風車設計基準の「風モデル」を用いて、風車各主要部に発生する荷重を該社の持つ専用ソフトを使用して計算した。

1 パワーカーブの検証

荷重計算に先立って、パワーカーブの検証を行い、図表 71に示す通り、鳥取大学にて検証し新デザインのパワーカーブとDNV・GLのソフトで解析したパワーカーブが一致する事を確認し、以降の荷重計算に結果の信頼性を担保した。

図表 71 鳥取大学とDNV・GLパワーカーブ比較



2 荷重計算前提

図表 72にて今回計算するために入力情報を検証した。国際風車設計基準に準拠している事を確認。

図表 72 国際風車設計基準 CLASS II

Parameter	Value	Unit
Wind Class	II	
Air density	1.225	kg/m ³
Characteristic turbulence intensity at 15 m/s, I ₁₅	0.18	%
Rated Power, P _{rated}	20	kW
Cut-in wind speed, V _{in}	3	m/s
Rated hub-height wind speed, V _r	11.0	m/s
Cut-out wind speed, V _{out}	20	m/s
Hub-height 50-year extreme mean wind speed, V ₅₀	42.5	m/s
Hub-height 1-year extreme mean wind speed, V ₁	34	m/s
Wind shear power law exponent	0	-
Flow inclination angle	8	°

3 風モデルの検証

荷重計算の前提となる「風モデル」を検証した。全てにおいて要求通りの条件である事を確認した。

図表 73 通常のレイリー分布による標準風況下での平常運転時

Design load case (DLC): 1.1			
Operating condition: Power production			
Wind conditions: Steady wind, $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$			
Type of analysis: Fatigue/Ultimate (normal)			
Partial safety factors: Normal			
Description of simulations:			
Description	Mean wind speed (m/s)	Wind bin	Hours / year
1.1a	4	3-5	1269.0
1.1b	6	5-7	1534.0
1.1c	8	7-9	1511.9
1.1d	10	9-11	1281.5
1.1e	12	11-13	956.4
1.1f	14	13-15	636.6
1.1g	16	15-17	380.8
1.1h	18	17-19	205.6
1.1i	20	19-21	100.6
- Constant wind speed, no turbulence modelled - Constant rotor speed			

図表 74 風速20mでの通常停止時

Design load case (DLC): 3.1		
Operating condition: Normal shut down		
Wind conditions: Steady wind, $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		
Type of analysis: Fatigue (normal)		
Partial safety factors: Normal		
Description of simulations:		
Description	Mean wind speed (m/s)	Occurrences per year
3.1a	3	2000
3.1b	10	100
3.1c	20	100
Turbine shutting down with mechanical brake at 2kNm Number of occurrences doubled to account for start ups		

図表 75 日本で特に多い乱流発生時での運転時

Design load case (DLC):	1.4		
Operating condition:	Power production + extreme coherent gust		
Wind conditions:	Extreme coherent gust		
Type of analysis:	Ultimate (normal)		
Partial safety factors:	Normal		
Description of simulations:			
Description	Vstart [m/s]	Gust amplitude [m/s]	Vend [m/s]
1.4a	8	15	23
1.4b	10	15	25
1.4c	12	15	27
1.4d	16	15	31
1.4e	20	15	35
- Mechanical brake applied at 6.4kNm when maximum rotor speed is reached - Wind direction change not modelled			

図表 76 高風速下における緊急異常停止時

Design load case (DLC):	2.3		
Operating condition:	Power production + grid loss		
Wind conditions:	Extreme operating gust		
Type of analysis:	Ultimate		
Partial safety factors:	Abnormal		
Description of simulations:			
Description	Vstart [m/s]	Gust amplitude [m/s]	Wind direction [deg]
2.3a_1	8	7.70	0
2.3a_2	8	7.70	90
2.3a_3	8	7.70	180
2.3a_4	8	7.70	270
2.3b_1	10	8.70	0
2.3b_2	10	8.70	90
2.3b_3	10	8.70	180
2.3b_4	10	8.70	270
2.3c_1	12	9.69	0
2.3c_2	12	9.69	90
2.3c_3	12	9.69	180
2.3c_4	12	9.69	270
2.3d_1	16	11.68	0
2.3d_2	16	11.68	90
2.3d_3	16	11.68	180
2.3d_4	16	11.68	270
2.3e_1	20	13.67	0
2.3e_2	20	13.67	90
2.3e_3	20	13.67	180
2.3e_4	20	13.67	270
- Mechanical brake applied, brake torque 6.4 kNm - Gridloss occurs 1s into the simulation - Four wind directions tested, indexed x=1-4			

図表 77 台風など高風速下における停泊時

Design load case (DLC): 5.1		
Operating condition: Parked		
Wind conditions: Extreme wind model (turbulent) V50		
Type of analysis: Ultimate		
Partial safety factors: Normal		
Description of simulations:		
Description	Wind direction [deg]	Vmean [m/s]
5.1_xx	0° to 120°	59.5
- Parking brake applied - Wind direction indexed xx, - Wind direction varied from -0 to 120° with steps of 5°		

4 荷重計算結果

図表 78に最大荷重が発生する場合(図表 77の風モデル) の荷重計算結果を表す。
このデータを基に次項で衝撃破壊に対する強度検討を行う。

図表 78 風速59. 5m/s下での停泊衝撃破壊荷重

Wind direction [deg]	Mz [Nm]	My [Nm]	Mx [Nm]	Fx [N]	Fy [N]
0	4572	64239	9583	14425	2155
5	7057	63368	9924	14225	2200
10	7668	64077	12005	14392	2682
15	4822	63796	8432	14327	1879
20	516	61078	3071	13718	698
25	2010	57713	17044	12963	3832
30	2771	50210	31608	11280	7100
35	1652	40874	44149	9185	9913
40	1297	31045	53512	6982	12013
45	5551	23855	60140	5373	13497
50	6958	24573	58647	5539	13152
55	5962	25131	58843	5648	13217
60	3371	25840	59878	5796	13445
65	1944	22598	60414	5078	13556
70	1259	27887	59085	6275	13260
75	1075	29858	56762	6709	12751
80	2668	22126	58411	4972	13121
85	3691	12978	61161	2916	13739
90	4316	1974	62757	444	14098
95	2321	15233	60563	3423	13605
100	619	23251	58023	5224	13034
105	1977	32010	57114	7205	12818
110	734	23723	60898	5339	13665
115	2500	21788	61076	4893	13703
120	4575	23821	60423	5346	13570

図表 79は風車軸、図表 80は連結部での、20年間風車を運転した場合に堆積した荷重計算結果を表す。

このデータを基に次項で疲労破壊に対する強度検討を行う。

図表 79 風車軸が受ける疲労破壊荷重

Distance along blade m	Fx kN	Fy kN	Fz kN	Mx kNm	My kNm	Mz kNm
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.4063	0.000	0.092	0.786	0.115	0.157	0.017
0.8125	0.000	0.211	1.658	0.224	0.653	0.078
1.2188	0.000	0.338	2.548	0.336	1.510	0.188
1.625	0.196	0.281	2.352	0.258	1.102	0.326
2.0313	0.196	0.147	1.438	0.213	0.340	0.345
2.4375	0.196	0.096	0.557	0.218	0.084	0.378
2.8438	0.196	0.178	0.530	0.299	0.129	0.420
3.25	0.180	0.317	1.518	0.437	0.437	0.430
3.6563	0.180	0.204	0.654	0.361	0.134	0.351
4.0625	0.180	0.152	0.617	0.338	0.122	0.289
4.4688	0.180	0.183	1.417	0.341	0.411	0.237
4.875	0.180	0.316	2.281	0.367	1.156	0.203
5.2813	0.000	0.326	2.640	0.332	1.541	0.171
5.6875	0.000	0.197	1.735	0.219	0.651	0.067
6.0938	0.000	0.077	0.779	0.109	0.141	0.012
6.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

図表 80 連結部が受ける疲労破壊荷重

Location [-]	Fx kN	Fy kN	Fz kN	Mx kNm	My kNm	Mz kNm
Bld 1 Mnt 1 End 1	9.822	1.244	0.432	0.557	0.768	4.491
Bld 1 Mnt 1 End 2	9.692	1.302	0.433	0.557	0.866	0.490
Bld 1 Mnt 2 End 1	5.795	1.177	0.071	0.114	0.141	4.256
Bld 1 Mnt 2 End 2	5.605	1.213	0.071	0.114	0.128	0.818
Bld 1 Mnt 3 End 1	9.707	1.309	0.405	0.253	0.618	4.601
Bld 1 Mnt 3 End 2	9.484	1.371	0.404	0.253	0.895	0.748
Bld 2 Mnt 1 End 1	9.792	1.251	0.433	0.558	0.767	4.520
Bld 2 Mnt 1 End 2	9.681	1.314	0.433	0.558	0.864	0.486
Bld 2 Mnt 2 End 1	5.761	1.181	0.071	0.114	0.141	4.276
Bld 2 Mnt 2 End 2	5.592	1.219	0.071	0.114	0.127	0.823
Bld 2 Mnt 3 End 1	9.663	1.313	0.404	0.253	0.616	4.619
Bld 2 Mnt 3 End 2	9.466	1.380	0.403	0.253	0.891	0.750
Bld 3 Mnt 1 End 1	9.810	1.258	0.432	0.559	0.767	4.523
Bld 3 Mnt 1 End 2	9.693	1.304	0.433	0.559	0.866	0.487
Bld 3 Mnt 2 End 1	5.767	1.182	0.071	0.114	0.141	4.260
Bld 3 Mnt 2 End 2	5.586	1.208	0.071	0.114	0.127	0.821
Bld 3 Mnt 3 End 1	9.637	1.322	0.405	0.254	0.617	4.627
Bld 3 Mnt 3 End 2	9.474	1.371	0.403	0.254	0.892	0.748

V-5. 強度検討

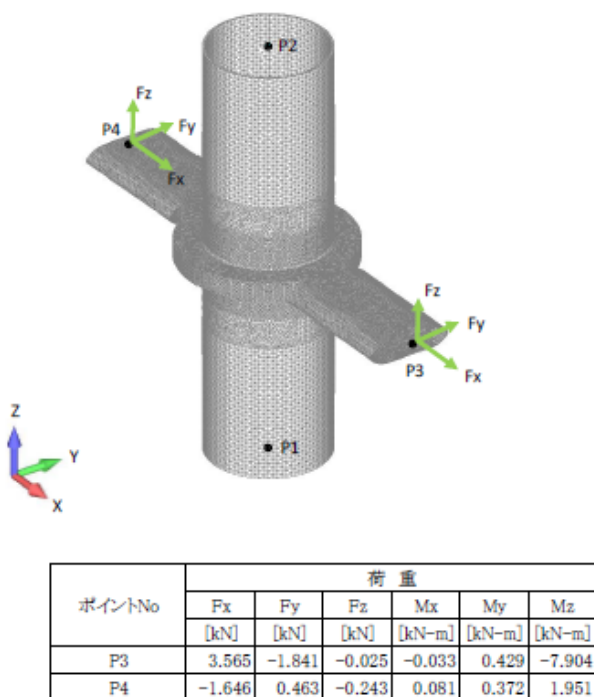
本章では、風車主要各部に対しての強度検討を実施した。前章で解析した荷重を基にFEM解析により、終極強度確認と疲労強度確認を行った。

1 強度検討内容

1-1 終極強度確認

前章の図表 78で示した荷重計算結果は、風速 59.5m/s で風車が停泊している時に受ける荷重であり、前章で解析した荷重計算結果で最大の荷重であった。従って、本項ではこの荷重を使って、終極強度についての検討を行った。これは、風車設置後の全ての場面を想定し、最大の衝撃を受ける場合でも風車はその荷重に耐えうるかどうかの評価である。図表 81で、強度検討を行った箇所（P3,P4）を明示する。それぞれに F_x , F_y , F_z 方向に働く荷重による強度を評価する

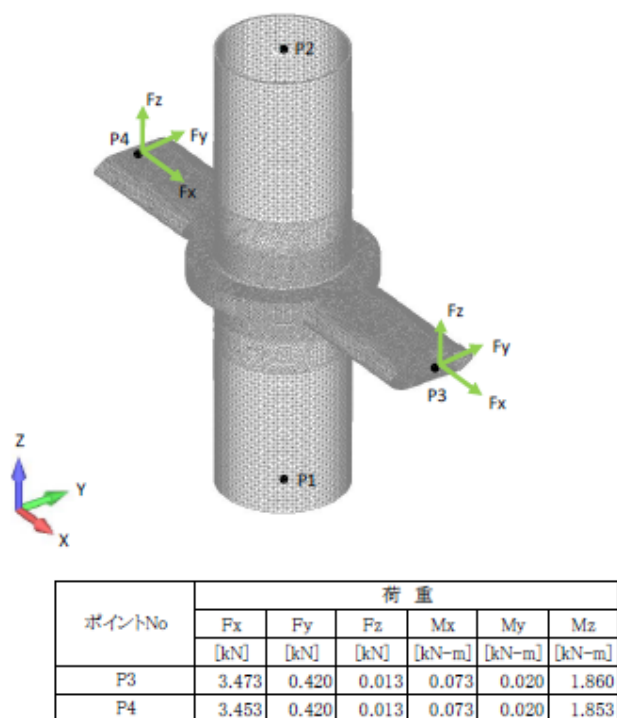
図表 81 終極強度確認



1-2 疲労強度確認

前章の図表 79図表 80で示した荷重計算結果を基に、ここでは、疲労強度の評価を行う。風車主要部が設置後に、国際風車設計基準である耐用年数20年間図表 79図表 80で示した荷重を継続的に受けた場合の耐久性についての評価である。図表 82で、最も強度が、要求される箇所（P3, P4）を明示し、それぞれ強度確認をする方向（ F_x , F_y , F_z ）も示す。

図表 82 疲労強度確認

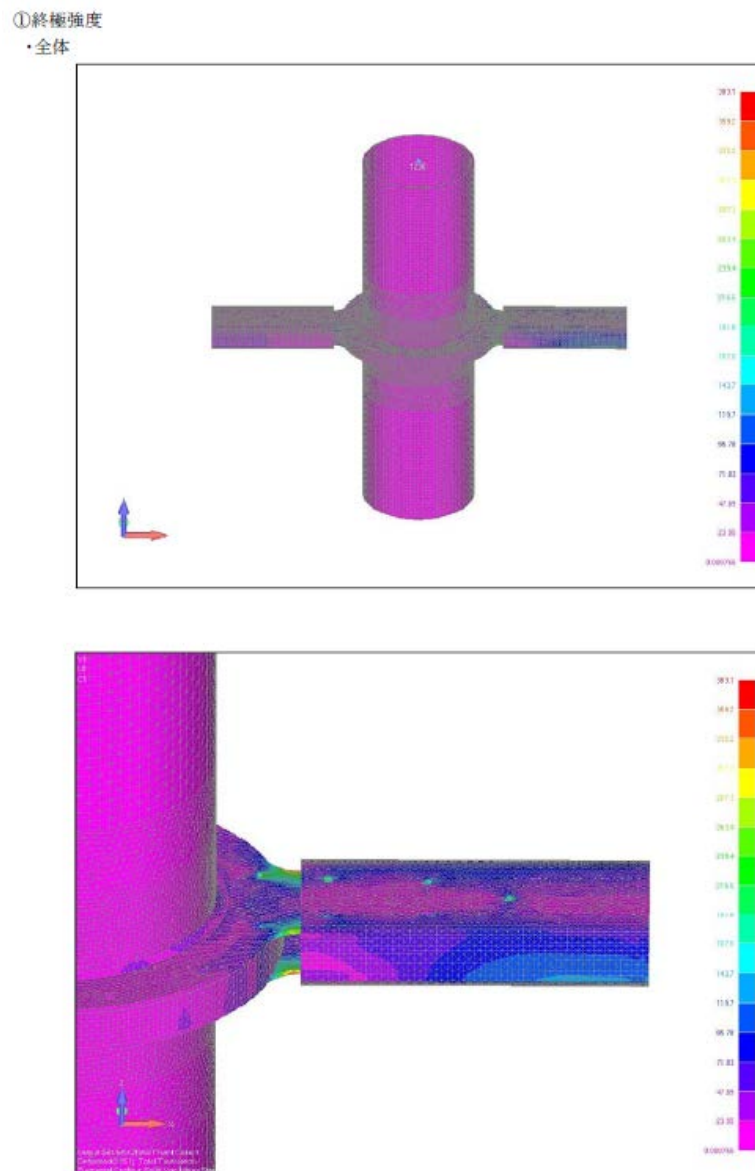


2 強度検討結果

FEM解析結果を本項では示す。解析結果の評価方法は、検討した強度に対する「満足度」で色分けされており、図表中の色が「紫・青色系：問題なし」「緑・黄色径：危険」「赤色径：問題あり」で示されている。

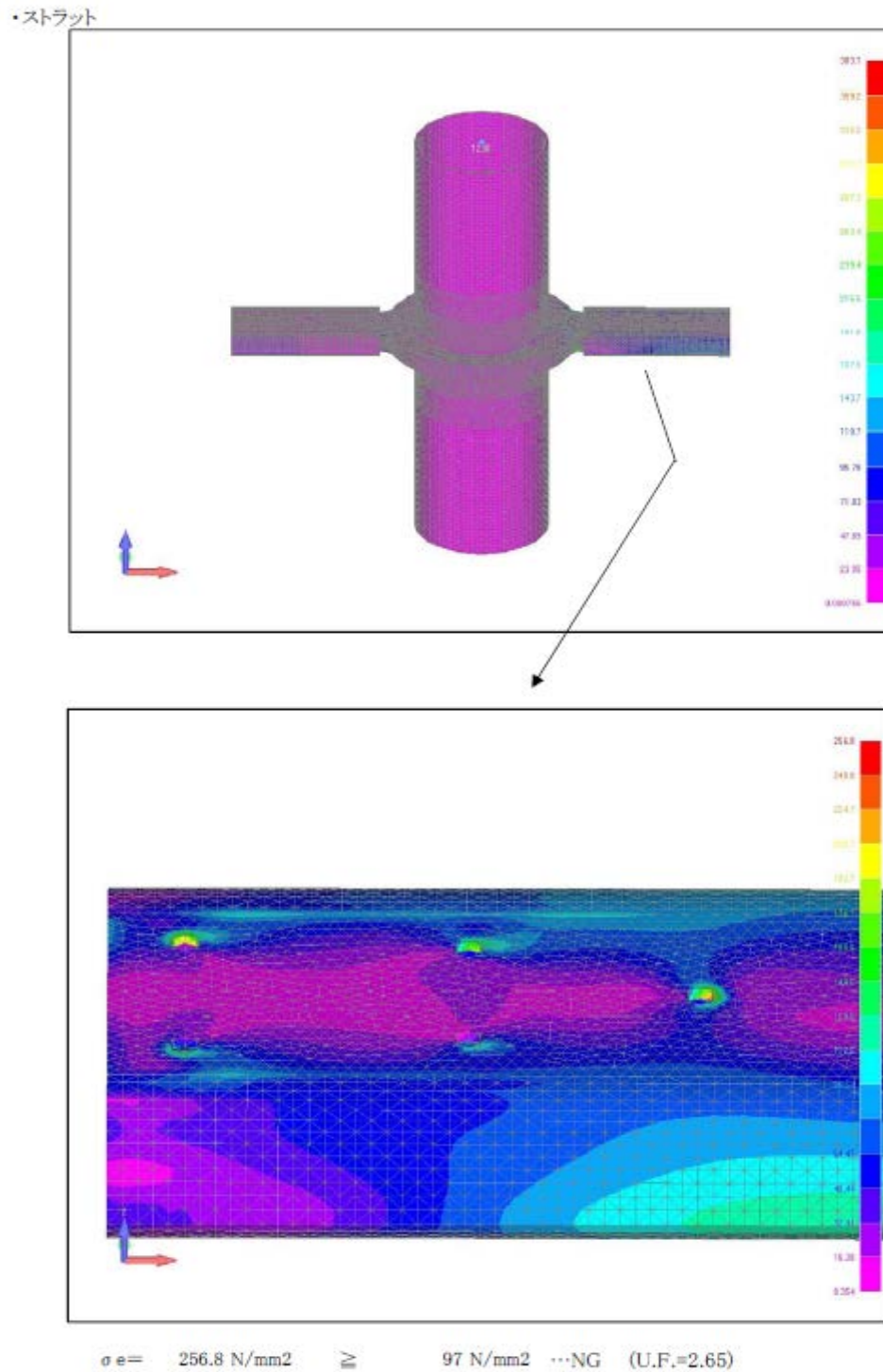
図表 83にて終極強度検討結果の「全体図」を示す。緑・黄色で示されている箇所が危険、問題あり、つまり強度不足の可能性ある箇所であり、以降、詳細について検証している。

図表 83 終極強度検討結果 全体



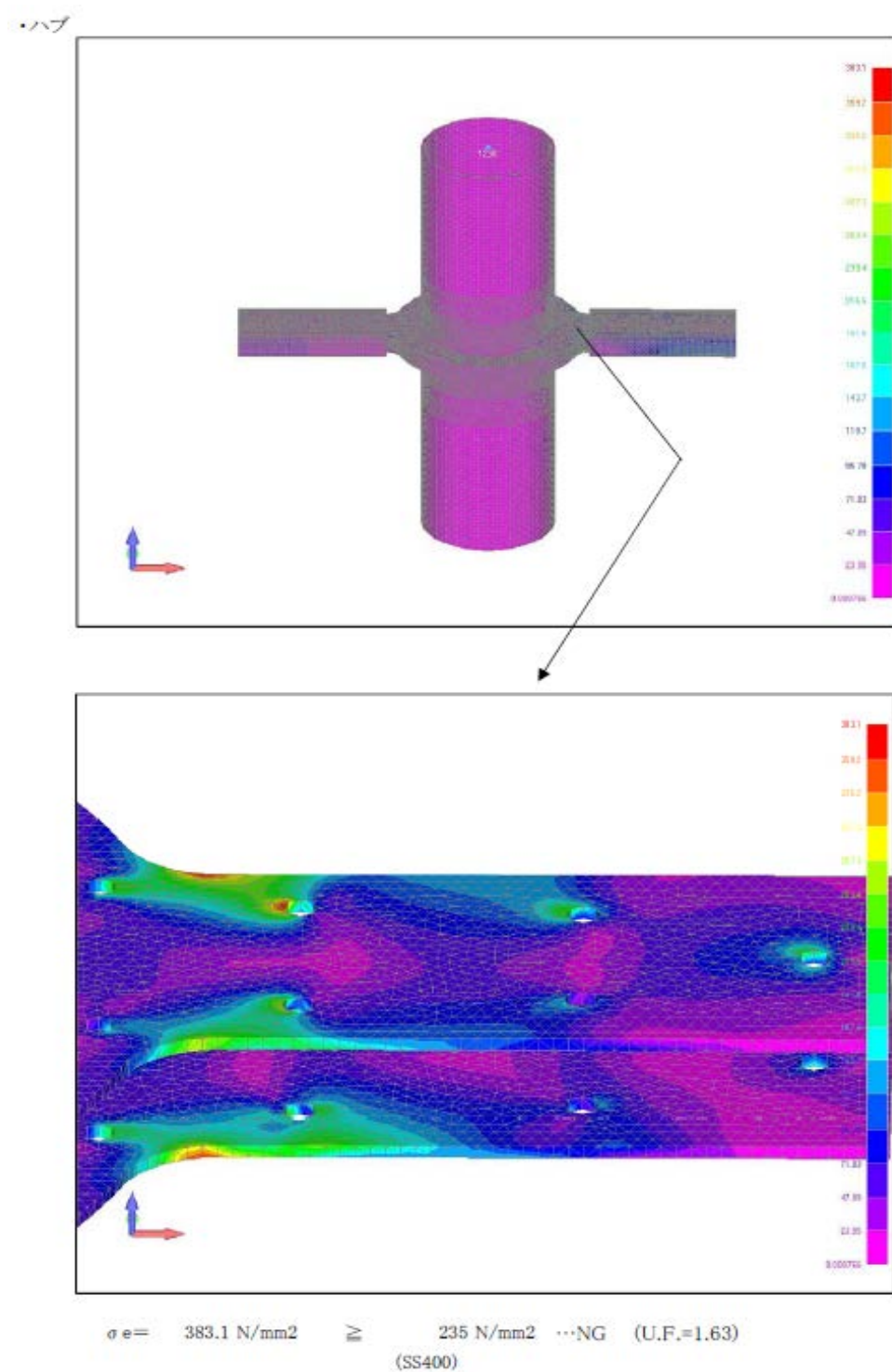
図表 84にて、ストラットの締結部であるボルト穴周辺での強度不足が発覚した。
穴位置や穴径、穴数についての再検討を要する。

図表 84 終極強度検討結果 ストラット



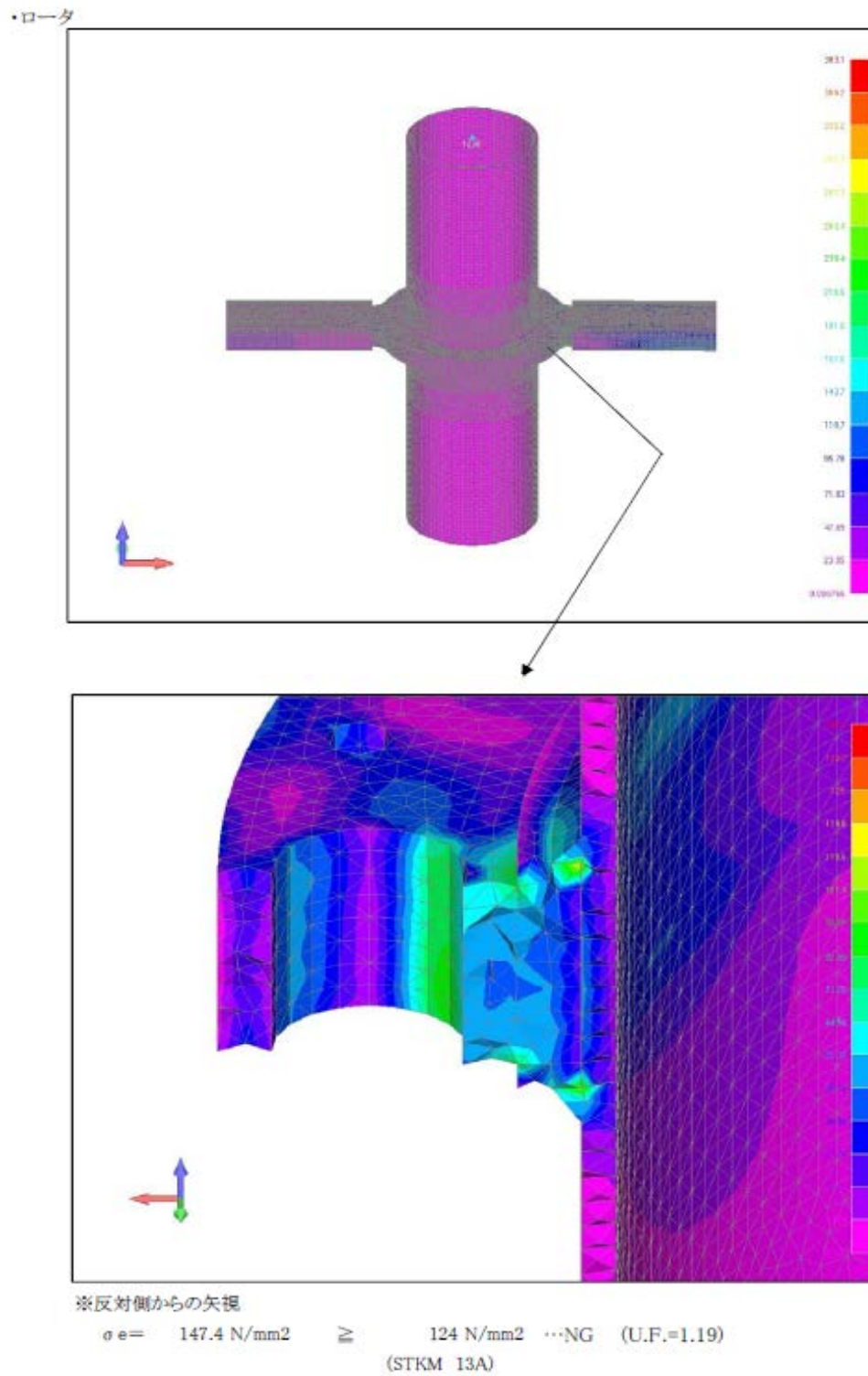
図表 85は、回転軸とストラットを締結する「ハブ」に対する終極強度検討結果である。アール形状部、及びストラット同様、ボルト穴付近での強度不足が示されており、ストラット同様にボルト穴に対する対策とハブを構成する材料の変更（材質強度アップと材料肉厚アップ）、アール部形状変更の検討を要する。

図表 85 終極強度検討結果 ハブ



図表 86は、ハブと回転軸を結合する「ロータ」についての終極強度検討結果である。ロータと回転軸溶接部での強度不足が示されており、溶接肉厚に増加を検討する必要がある。

図表 86 終極強度検討結果 ロータ

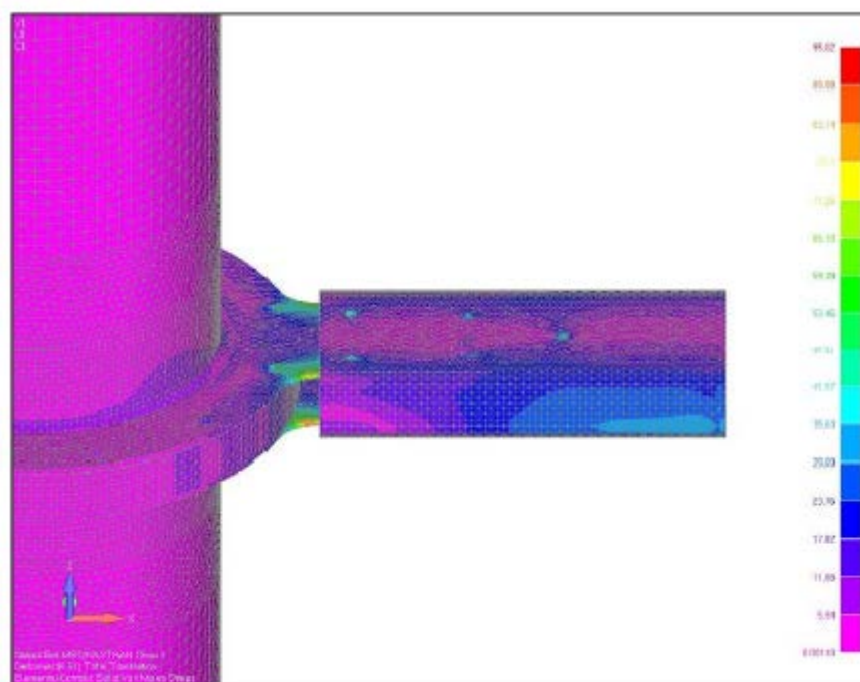
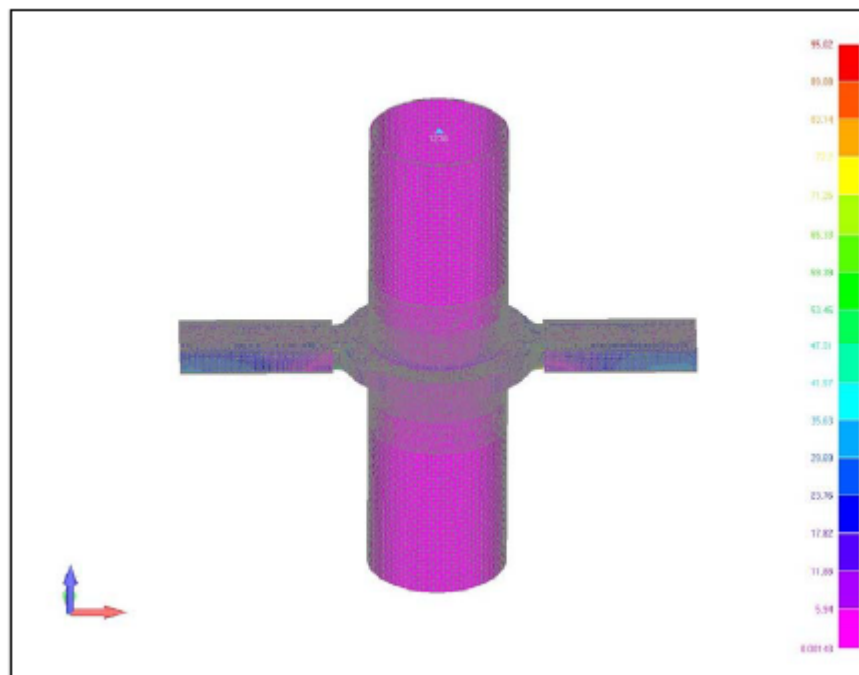


3 疲労強度検討結果

図表 87で、疲労強度検討結果の「全体」を示している。回転軸、ストラット締結部に強度上問題がある可能性を示唆している。

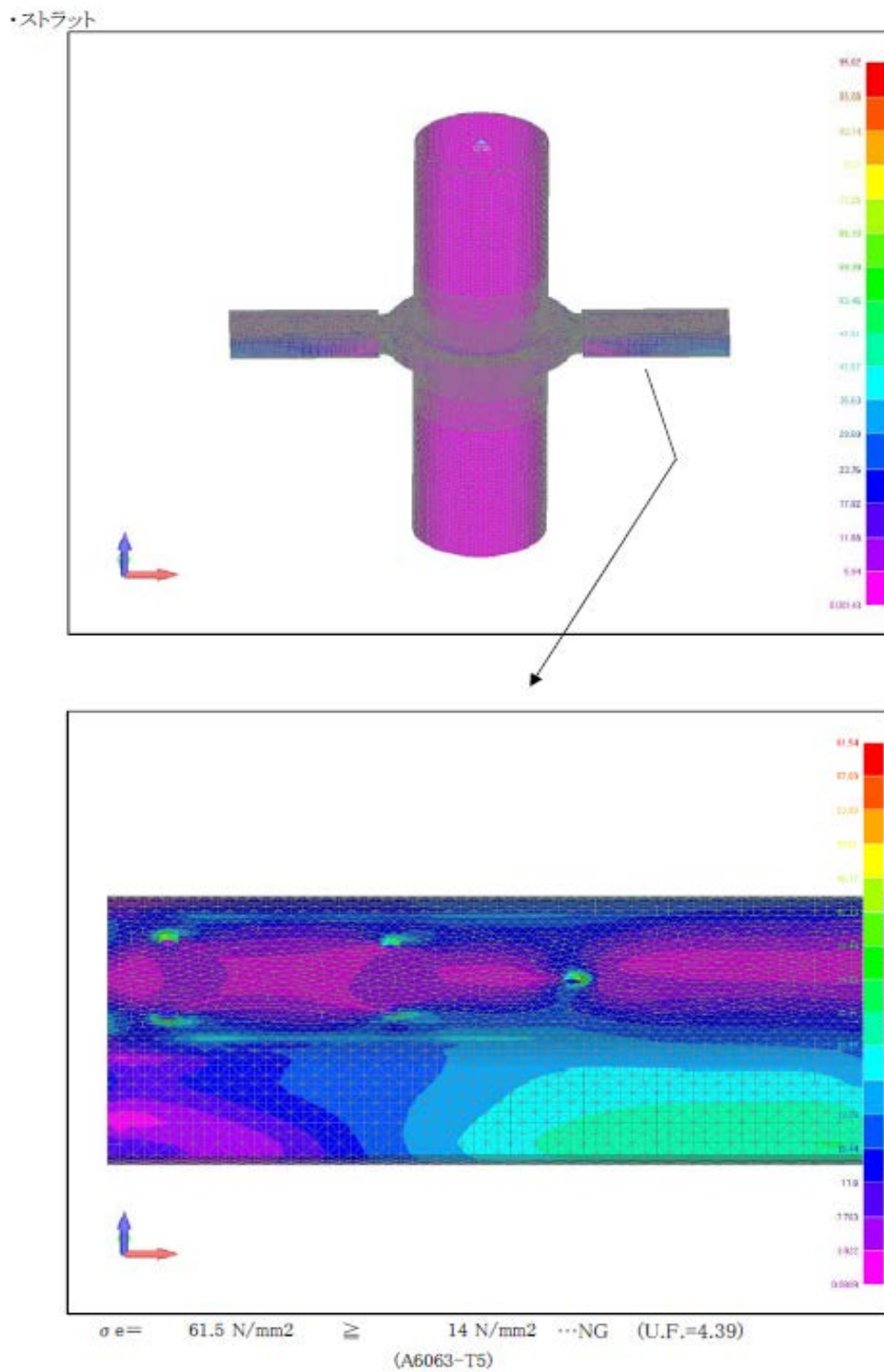
図表 87 疲労強度検討結果 全体

①疲労強度
・全体



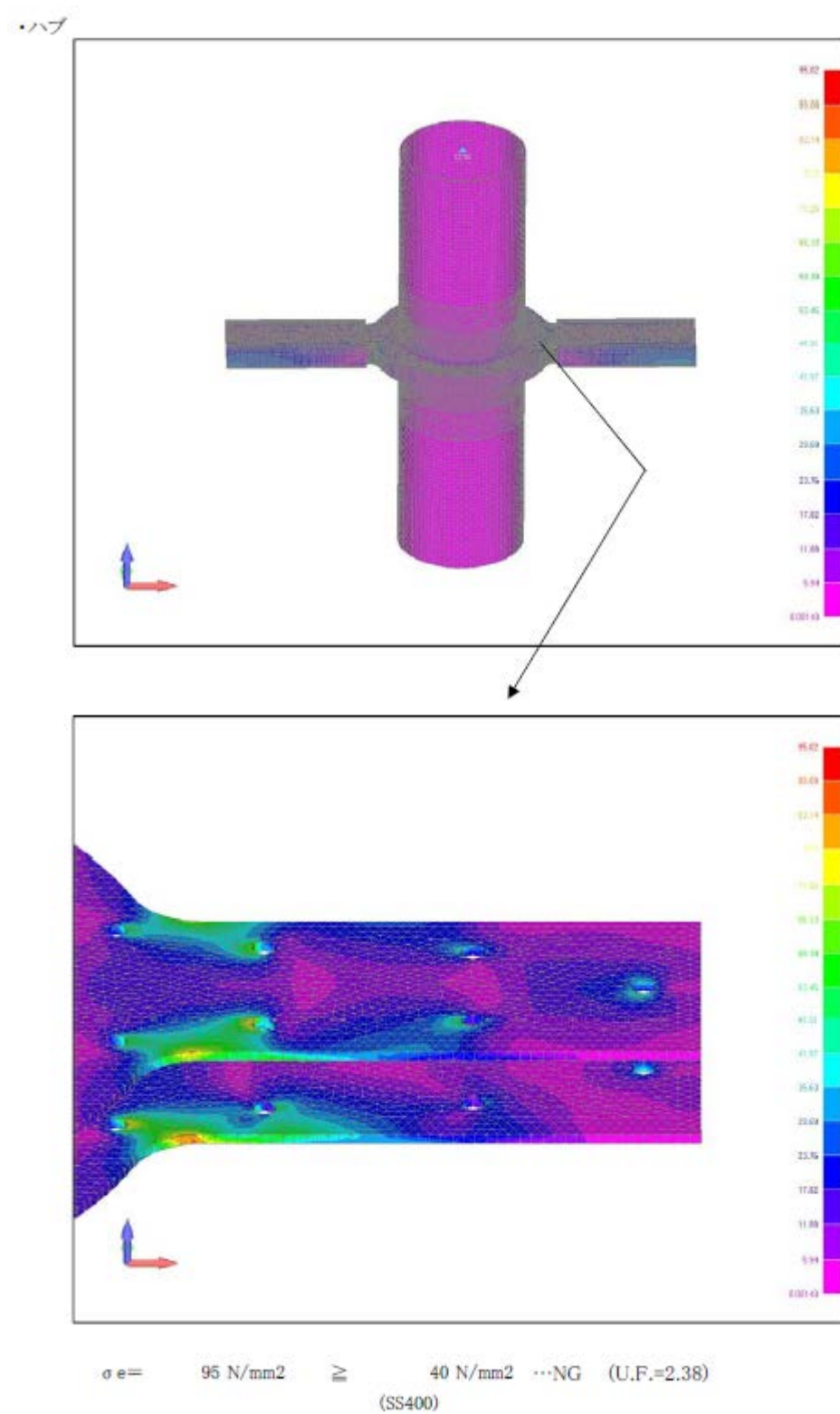
図表 88で、ストラットの疲労強度検討結果を示している。終極強度検討結果同様、ボルト穴近辺での強度不足が発覚し、同様の対策が必要である事を示している。

図表 88 疲労強度検討結果 ストラット



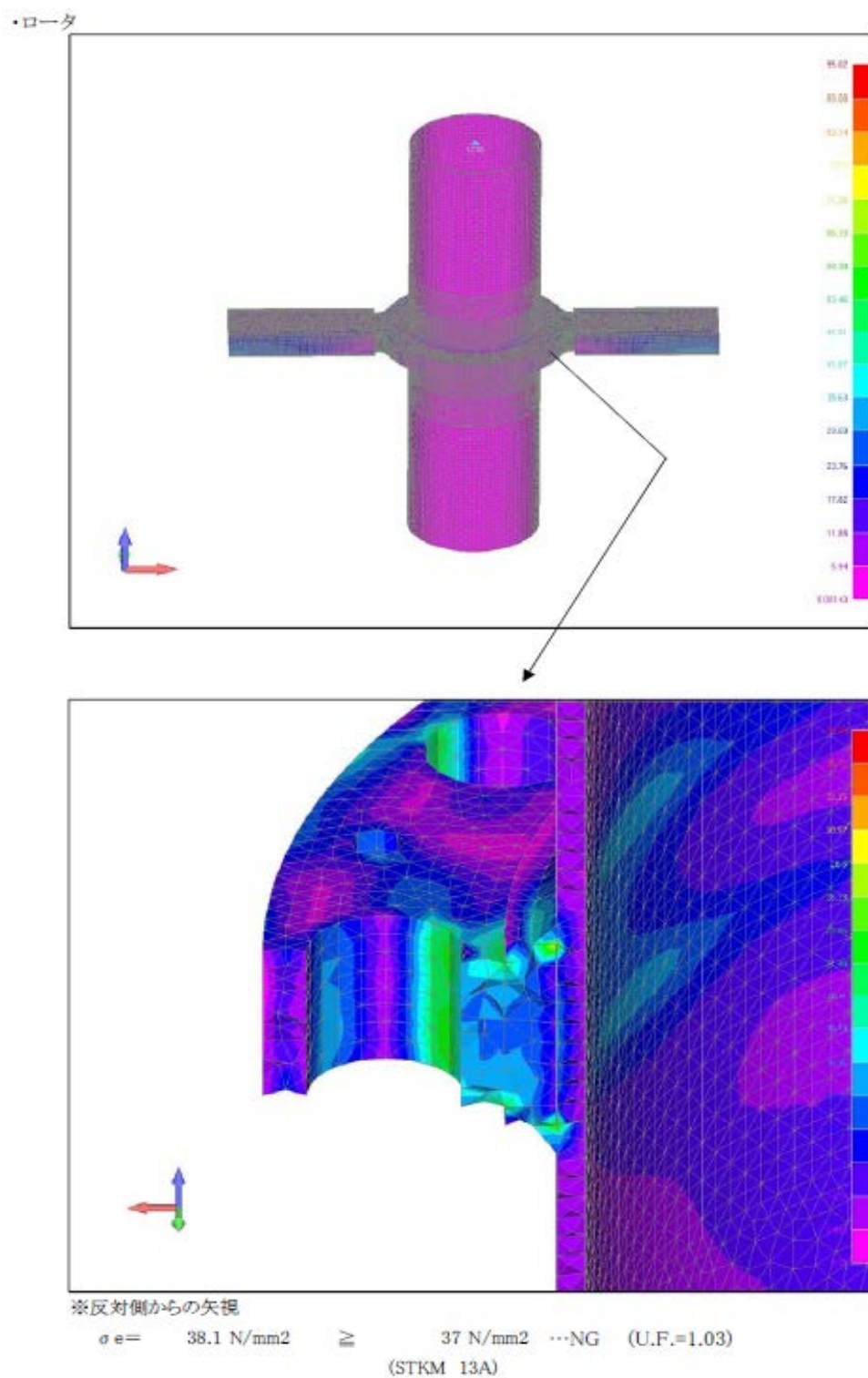
図表 89は、ハブに対する疲労強度検討結果を示している。アール部形状およびストラットのボルト穴周辺に問題があるため、ここでも終極強度検討結果と同じ対策を講じる必要がある。

図表 89 疲労強度検討結果 ハブ



図表 90は、ロータに対する疲労強度検討結果であり、やはり、ストラットやハブと同じ結果のため、同様な対策を講じる必要がある。

図表 90 疲労強度検討結果 ロータ



4 まとめと今後の見通し

今回の強度検討の結果、3箇所を終極強度不足、同じく3箇所の疲労強度不足が発覚し、以下の対策を講じる

- ・ ハブの板厚アップ 6mmから9mmへ
- ・ ハブの材質変更 STKM材からSS材へ
- ・ ハブのアール部形状を直線形状に変更
- ・ 取付ボルト位置変更 前後平行にする
- ・ 取付ボルト数変更 5本から6本へ
- ・ ロータ溶接肉厚増 2mmから4mmへ

上記変更後のFEM再解析を行い、全て問題なしとなるまで、このプロセスを繰り返す必要がある。

V-6. 共振検討

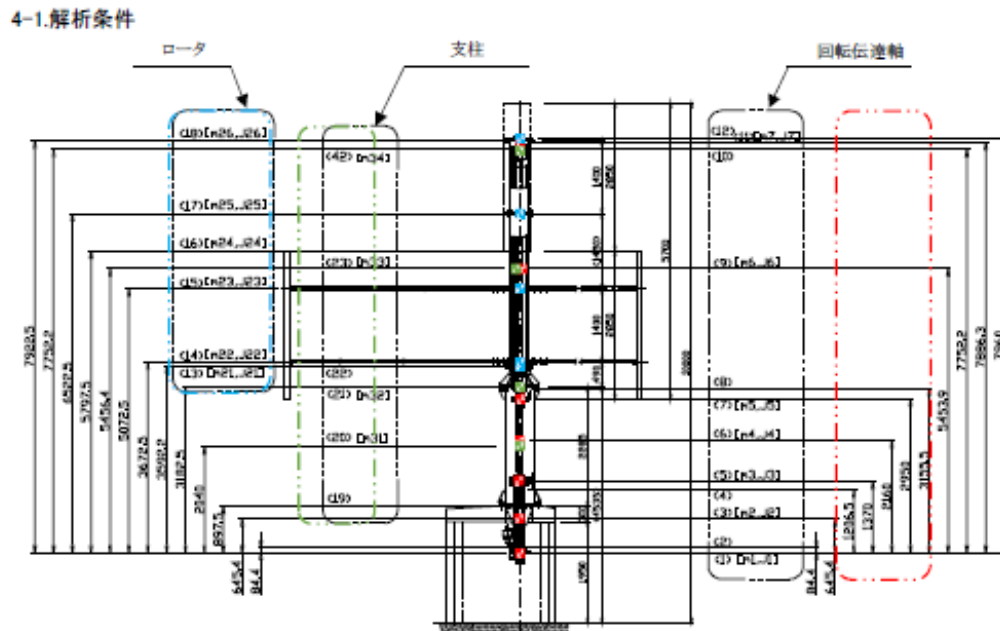
共振リスクへの対応検討のために、各風車デザインに対して回転体が持つ「固有振動数」の解析を行った。

1 固有振動数

ねじり系の固有振動数は、回転伝達軸とロータの組み合わせで求める。(図表 91、図表 92、図表 93)

水平（曲げ）方向の固有振動数は、回転伝達軸とロータおよび支柱の組み合わせで求める。解析ソフトはMSC Nastranを使用する。

図表 91 解析条件



図表 92 質量および慣性モーメント

(1) 質量および慣性モーメント

No	質量 m kg	慣性モーメント J kg・m ²	記号
1	46.6	0.130	■
2	14.8	0.025	■
3	146.6	1.856	■
4	17.6	0.029	■
5	116.1	0.484	■
6	64.3	0.157	■
7	72.3	0.283	■
21	147.8	5.623	■
22	104.2	545.636	■
23	104.2	545.636	■
24	146.0	4.415	■
25	104.2	545.636	■
26	191.1	548.278	■
31	98.2	-	■
32	330.5	-	■
33	133.7	-	■
34	85.9	-	■
合計	1,924.3	2198.187	

図表 93 拘束条件

(2) 拘束条件

ポイントNo (○)	水平(曲げ 解析時	ねじり 解析時	
1	2	1236	←ブレーキ
2	123	123	←ベアリング
3	2	123	
4	123	123	←ベアリング
5	2	123	
6	2	123	
7	2	123	
8	2	123	
9	2	123	
10	2	123	
11	2	123	
12	2	123	
13	2	123	
14	2	123	
15	2	123	
16	2	123	
17	2	123	
18	2	123	
19	123456	-	←アンカー部
20	2	-	
21	2	-	
22	2	-	
23	2	-	
42	2	-	
8-21	1	-	←ベアリングユニット
10-42	1	-	←ベアリングユニット
12-18	13456	6	←カップリング
13-22	13	-	←ベアリング

自由度	1	2	3	4	5	6
	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz

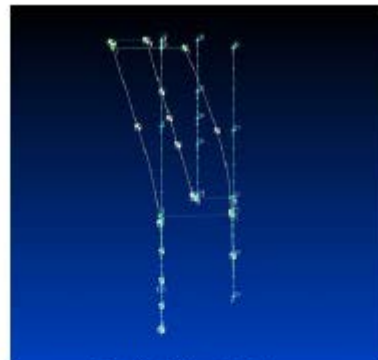
図表 94 解析結果

4-2.解析結果

固有振動数 (水平)
回転伝達軸+ロータ+支柱

モード	固有振動数 (Hz)		軸回転数		有効質量比					
			(rpm)		X		Z		RY	
			(翼4枚)	(翼2枚)	比率	累積	比率	累積	比率	累積
1	4.576	274.5	68.6	137.3	4.55E-01	4.55E-01	4.78E-30	4.78E-30	7.72E-01	7.72E-01
2	22.101	1,326.0	331.5	663.0	2.66E-02	4.82E-01	1.74E-30	6.52E-30	1.19E-02	7.84E-01
3	29.670	1,780.2	445.1	890.1	3.31E-01	8.13E-01	6.86E-29	7.52E-29	1.23E-01	9.07E-01
4	42.879	2,572.7	643.2	1,286.4	8.90E-03	8.22E-01	2.93E-29	1.04E-28	4.08E-03	9.11E-01
5	69.804	4,188.2	1,047.1	2,094.1	6.06E-02	8.83E-01	6.81E-29	1.73E-28	9.42E-03	9.21E-01
6	97.104	5,826.2	1,456.6	2,913.1	1.18E-02	8.94E-01	9.57E-29	2.68E-28	2.57E-04	9.21E-01
7	142.109	8,526.5	2,131.6	4,263.3	8.07E-29	8.94E-01	7.40E-01	7.40E-01	3.50E-02	9.56E-01
8	171.488	10,289.3	2,572.3	5,144.6	1.57E-02	9.10E-01	6.23E-29	7.40E-01	8.71E-04	9.57E-01
9	182.043	10,922.6	2,730.7	5,461.3	5.23E-03	9.15E-01	1.53E-29	7.40E-01	3.73E-04	9.57E-01
10	232.170	13,930.2	3,482.6	6,965.1	5.95E-30	9.15E-01	4.89E-02	7.88E-01	2.34E-02	9.81E-01
11	260.024	15,601.5	3,900.4	7,800.7	4.81E-04	9.16E-01	1.03E-30	7.88E-01	3.51E-06	9.81E-01
12	296.624	17,797.5	4,449.4	8,898.7	7.09E-06	9.16E-01	8.23E-31	7.88E-01	9.48E-07	9.81E-01
13	302.254	18,135.2	4,533.8	9,067.6	2.31E-02	9.39E-01	6.35E-31	7.88E-01	2.20E-03	9.83E-01
14	320.797	19,247.8	4,812.0	9,623.9	2.32E-30	9.39E-01	1.59E-02	8.04E-01	9.31E-04	9.84E-01
15	340.110	20,406.6	5,101.7	10,203.3	1.63E-02	9.55E-01	3.09E-31	8.04E-01	1.43E-03	9.85E-01
16	376.824	22,609.4	5,652.4	11,304.7	1.13E-03	9.56E-01	2.85E-29	8.04E-01	9.39E-05	9.85E-01
17	379.019	22,741.1	5,685.3	11,370.6	1.01E-30	9.56E-01	8.19E-02	8.86E-01	6.47E-03	9.92E-01
18	493.060	29,583.6	7,395.9	14,791.8	1.50E-31	9.56E-01	2.95E-03	8.89E-01	2.17E-03	9.94E-01
19	550.560	33,033.6	8,258.4	16,516.8	4.31E-03	9.61E-01	7.58E-31	8.89E-01	3.37E-04	9.94E-01
20	555.500	33,330.0	8,332.5	16,665.0	3.93E-02	1.00E+00	3.25E-33	8.89E-01	1.14E-04	9.94E-01

	rpm	Hz	(1倍)	(2倍)	(4倍)
カットイン風速時の回転数	26		0.433	0.866	1.732
最大回転数	105		1.750	3.500	7.000



モード:1次 4.576Hz



モード:2次 22.101Hz



モード:3次 29.670Hz

2 解析条件

ねじり系および水平（曲げ）方向共、固有振動数はシャフトとロータおよび支柱の組み合わせで求める。（図表 95、図表 96、図表 97）解析ソフトはMSC Nastranを使用する。プロト2号機からのモデル変更点を以下に示す。

図表 95 解析条件

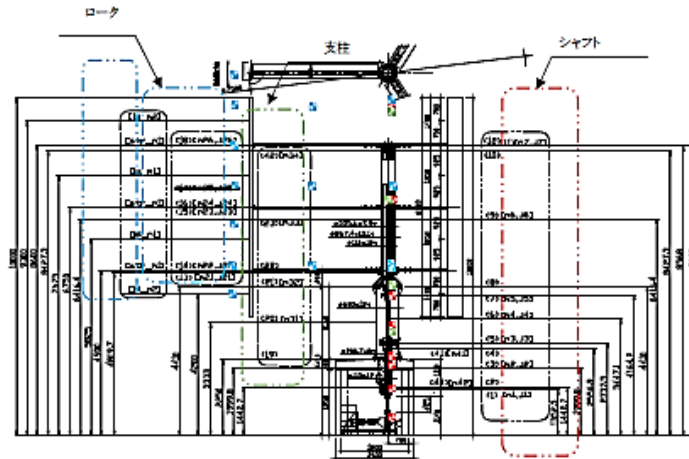
1.解析条件

ねじり系および水平（曲げ）方向共、固有振動数はシャフトとロータおよび支柱の組み合わせで求める。
解析ソフトはMSC Nastranを使用する。
プロト2号機からのモデル変更点を以下に示す。

	プロト2号機	解析モデル
外筒内支柱サイズ	φ267.4* t 9.3	φ267.4* t 15.1
翼枚数	2枚	3枚
翼枚長さ	5.7m	6.5m
ローター外径	9m	7.5m
外筒長さ	4.25m	3.7m
ストラット本数	4本	3本
ストラット断面形状	長丸形状	翼形状

固有値解析では断面性能の値および質量を使用

(1)外形寸法



(2)質量および慣性モーメント

No	質量 m kg	慣性モーメント J kg・m ²	記号
1	46.6	0.130	■
2	14.8	0.025	■
3	146.6	1.856	■
4	17.6	0.029	■
5	116.1	0.484	■
6	64.3	0.157	■
7	72.3	0.283	■
21	136.9	5.293	■
22	70.3	4.966	■
23	70.3	4.966	■
24	124.2	3.755	■
25	-	-	■
26	153.2	7.495	■
str_m1	30.4	-	■
bl_m1	9.4	-	■
bl_m2	7.1	-	■
31	93.2	-	■
32	351.1	-	■
33	179.8	-	■
34	109.0	-	■
41	29.1	-	■
42	22.3	-	■
合計	2,253.6	29.438	

3×3箇所
2×3箇所
2×3箇所

図表 96 拘束条件

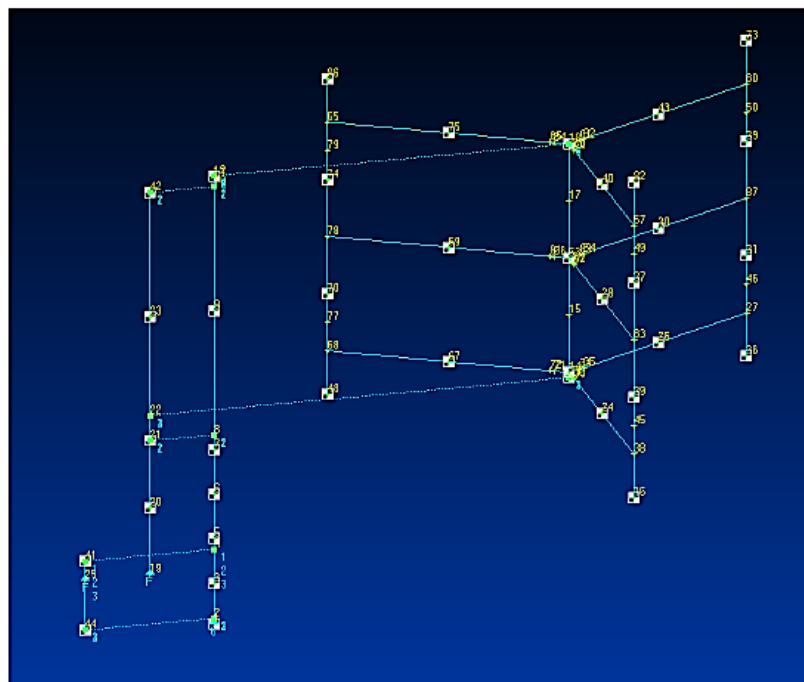
(3) 拘束条件

ポイントNo (○)	拘束	
1	6	←ブレーキ
2	-	
3	-	
4	-	
5	-	
6	-	
7	-	
8	-	
9	-	
10	-	
11	-	
12	-	
13	-	
14	-	
15	-	
16	-	
17	-	
18	-	
19	123456	←アンカー部(支柱)
20	-	
21	-	
22	-	
23	-	
25	123456	←アンカー部(ブレーキ架台)
42	-	
2-44	123	←ベアリング
4-41	123	←ベアリング
8-21	12	←ベアリングユニット
10-42	12	←ベアリングユニット
12-18	123456	←カップリング
13-22	123	←ベアリング

自由度	1	2	3	4	5	6
	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz

図表 97 解析モデル

2. 解析モデル
解析モデルを以下に示す。



図表 98 解析結果

3.解析結果

固有振動数
シャフト+ロータ+支柱

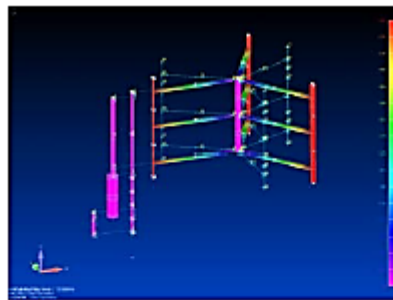
svw_axis_outer_post24_3bladeH.20180118

翼3枚,マウント部板厚アップ+高さ保持,内筒板厚アップ, 外筒長さ3.7m, 翼外径7.5m, ストラット3本

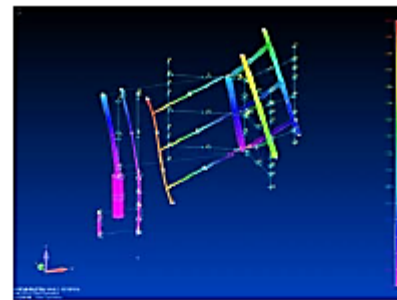
モード	固有振動数 (Hz)	軸回転数 (rpm)	有効質量比							
			(翼3枚)	X		Y		Z		
				比率	累積	比率	累積	比率	累積	←ねじり
1	1.013	60.8	20.3	2.64E-10	2.64E-10	1.03E-15	1.03E-15	2.71E-21	2.71E-21	
2	4.613	276.8	92.3	1.06E-01	1.06E-01	1.17E-01	1.17E-01	4.07E-07	4.07E-07	
3	4.650	279.0	93.0	1.18E-01	2.24E-01	1.06E-01	2.23E-01	5.43E-07	9.50E-07	
4	5.804	348.3	116.1	1.10E-09	2.24E-01	1.55E-05	2.23E-01	1.45E-01	1.45E-01	
5	6.488	389.3	129.8	6.01E-02	2.84E-01	9.53E-02	3.18E-01	3.95E-06	1.45E-01	
6	6.512	390.7	130.3	9.96E-02	3.83E-01	6.59E-02	3.84E-01	2.43E-06	1.45E-01	
7	6.979	418.8	139.6	7.42E-05	3.83E-01	5.74E-08	3.84E-01	1.10E-12	1.45E-01	
8	7.823	469.4	156.5	6.59E-02	4.49E-01	3.48E-04	3.84E-01	1.03E-10	1.45E-01	
9	7.867	472.0	157.3	9.67E-04	4.50E-01	6.64E-02	4.51E-01	3.66E-08	1.45E-01	
10	9.485	569.1	189.7	5.87E-03	4.56E-01	9.15E-04	4.52E-01	3.49E-10	1.45E-01	
11	9.507	570.4	190.1	2.25E-03	4.58E-01	6.58E-03	4.58E-01	1.86E-08	1.45E-01	
12	16.457	987.4	329.1	4.64E-06	4.58E-01	1.43E-05	4.58E-01	5.35E-05	1.45E-01	
13	16.474	988.4	329.5	1.21E-05	4.58E-01	5.90E-06	4.58E-01	1.15E-08	1.45E-01	
14	16.521	991.3	330.4	3.36E-07	4.58E-01	2.04E-07	4.58E-01	1.80E-03	1.47E-01	
15	16.846	1,010.7	336.9	2.94E-05	4.58E-01	2.05E-08	4.58E-01	2.09E-06	1.47E-01	
16	16.887	1,013.2	337.8	4.40E-10	4.58E-01	3.12E-05	4.58E-01	4.43E-11	1.47E-01	
17	16.945	1,016.7	338.9	2.07E-06	4.58E-01	2.45E-08	4.58E-01	3.84E-06	1.47E-01	
18	17.634	1,058.0	352.7	3.74E-02	4.96E-01	3.74E-02	4.96E-01	2.96E-11	1.47E-01	
19	21.403	1,284.2	428.1	9.80E-09	4.96E-01	1.43E-05	4.96E-01	3.72E-03	1.51E-01	
20	21.417	1,285.0	428.3	1.66E-05	4.96E-01	1.89E-08	4.96E-01	4.84E-09	1.51E-01	

カットイン風速時のローター回転数

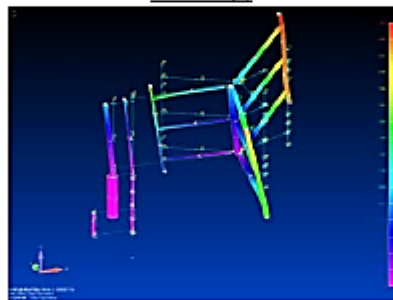
26 rpm



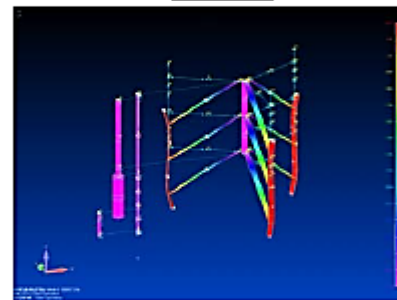
モード:1次



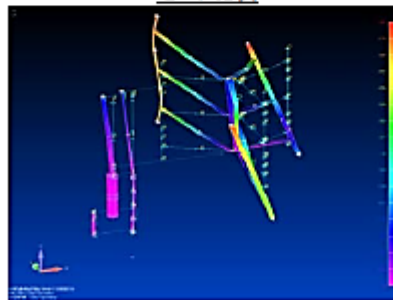
モード:2次



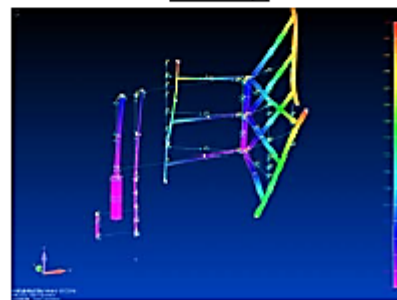
モード:3次



モード:4次



モード:5次



モード:6次

3 まとめと今後の見通し

当初の共振リスクについては、翼を平行2枚翼にする事により回避。3枚翼へ変更後の共振リスクについても、固有振動数92.3rpm（図表 98）に対して、風車制御回転数を85rpmとする事により国際風車設計基準である制御回転数<固有振動数 $\pm 5\%$ をクリアする事により回避。今後については、詳細設計時にさらに風車軸周りの剛性を上げる事により固有回転数引き上げると同時に、メカブレーキの応答性を改善して、危険回転領域で風車が回転しないように制御性能を高める事により共振リスクについて完全に払拭する。

V-7. システム全体仕様書

今回の実証を通じて、事業性のある、ブラッシュアップされた風車最終設計の概要を「製品仕様書」としてシステム全体仕様書のとりまとめを行った。

仕様書は、第1章「風車概要」、第2章「内部機器」、第3章「電気・制御関係」の3部構成となっている。以下にてその抜粋を記載する。

1 風車概要

1.1 設備概要

図表 99 設備概要

1 適用

本仕様書は日本の風況に適した風力発電機を目指して開発・設計されたCWGS小形風力発電機の仕様について記述します。

2 設備概要

本小形風力発電機は垂直軸を中心として回転する3枚の翼と外筒で構成された風車によって、風車軸に接続された発電機を回転させ発電を行う設備です。

3 主要仕様

項 目		仕 様
風車タイプ		小形垂直軸多翼型風車
定格出力		19.9kW (風速11m/s)
性能	カットイン風速	3m/s
	カットアウト風速	20m/s
	定格風速	11m/s
ローター	ローター直径	7.5m
	ローター高さ	6.5m
	回転数	26~95min ⁻¹
ブレード	ブレード数	3枚
	ブレード長さ	6.5m
	材質	CFRP
発電機	タイプ	永久磁石型同期発電機
	電圧	650V
タワー	全高	10m
耐風速		60m/s

4 準拠する規格及び基準

本風力発電機は以下に示す法規および基準に基づいて設計・製造します。

- (1) 法律
 - ・電気事業法
 - ・建築基準法
- (2) 政令
 - ・電気事業法施行令
- (3) 省令・公示
 - ・電気事業法施行規則
 - ・電機設備に関する技術基準を定める省令
 - ・発電用風力設備に関する技術基準を定める省令
- (4) 規定・規格・ガイドライン
 - ・日本工業規格(JIS)
 - ・JSWTA 0001:2013 小形風車の性能及び安全性に関する規格
 - ・JIS C 1400-2:2010(IEC61400-2:2006) 風車-第2部:小形風車の設計要件

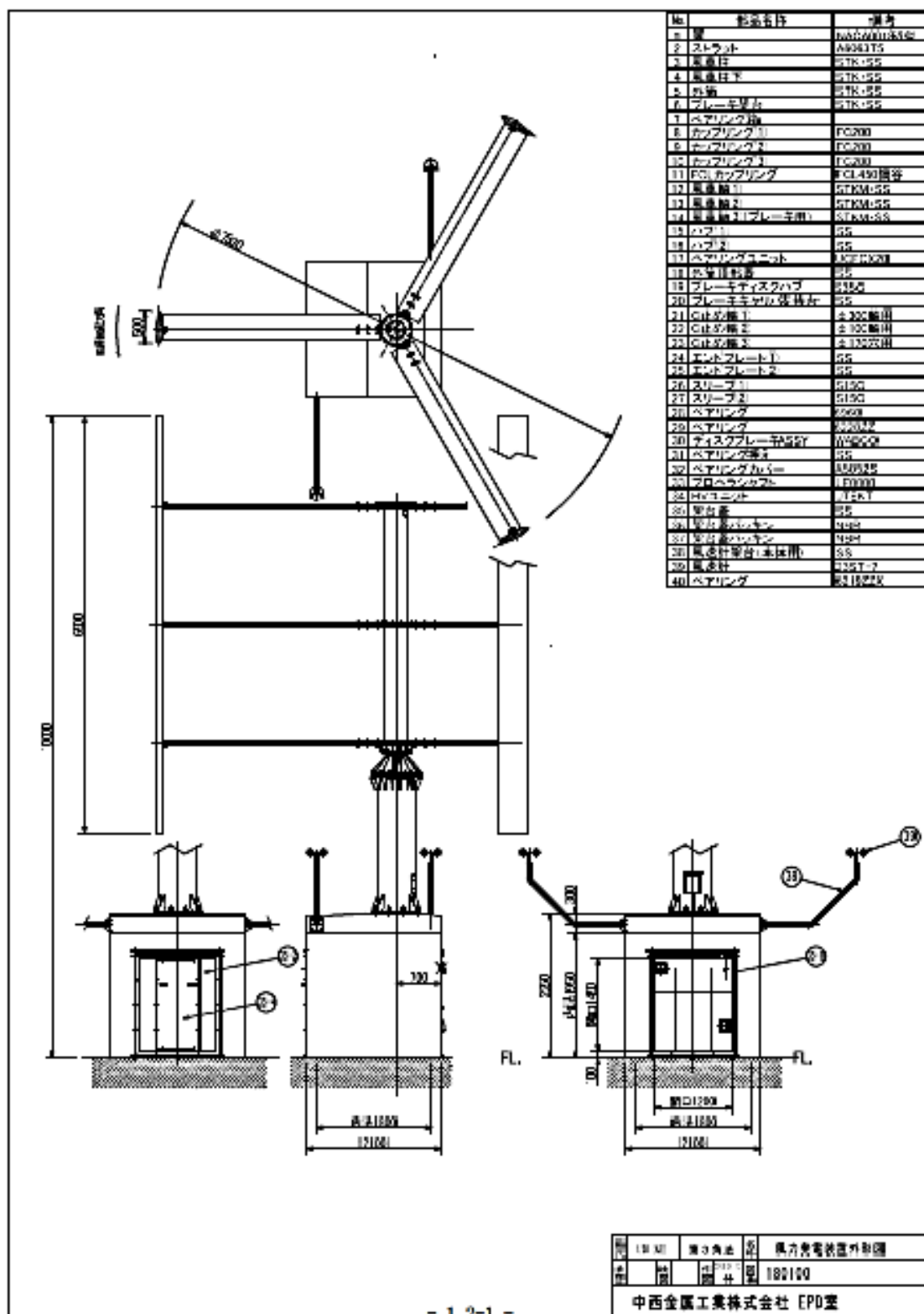
図表 100 仕様詳細

5 仕様詳細

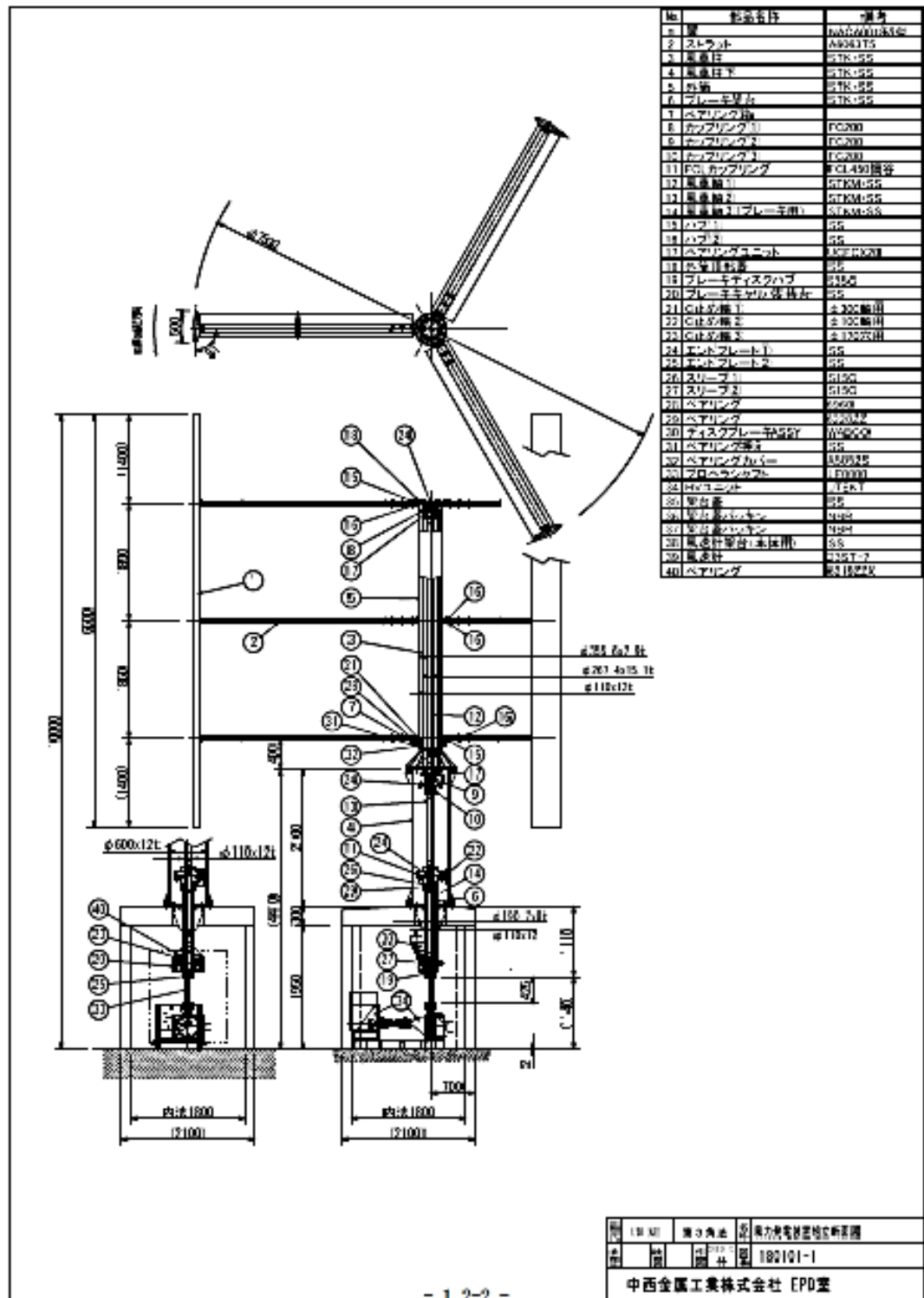
項 目	仕 様
1. 主要目	
(1) 風車タイプ	小形車直軸多翼型風車
(2) 定格出力	19.9kW (風速11m/s)
(3) カットイン風速	3m/s
(4) 定格風速	11m/s
(5) カットアウト風速	
10分間平均風速	20m/s
(7) SWTクラス	II
(8) 耐風速	60m/s
2. 翼	
(1) ローター直径	7.5m
(2) ローター高さ	6.5m
(3) ブレード数	3枚
(4) ブレード高さ	6.5m
(5) 回転数	26~95min ⁻¹
(6) 翼形	NACA0018
(7) ブレード材質	CFRP
3. タワー	
(1) タイプ	鋼製モノポール
(2) 全高	10m
(3) 基礎	PCコンクリート
4. 発電機	
(1) タイプ	永久磁石型同期発電機
(3) 電圧	650V
5. 保安装置	
(1) パーキングブレーキ	エア式ディスクブレーキ

1.2 風車全体図

図表 101 風車全体図



図表 102 風車部品図



1.3 ブレード仕様

図表 103 ブレード仕様

1 適用

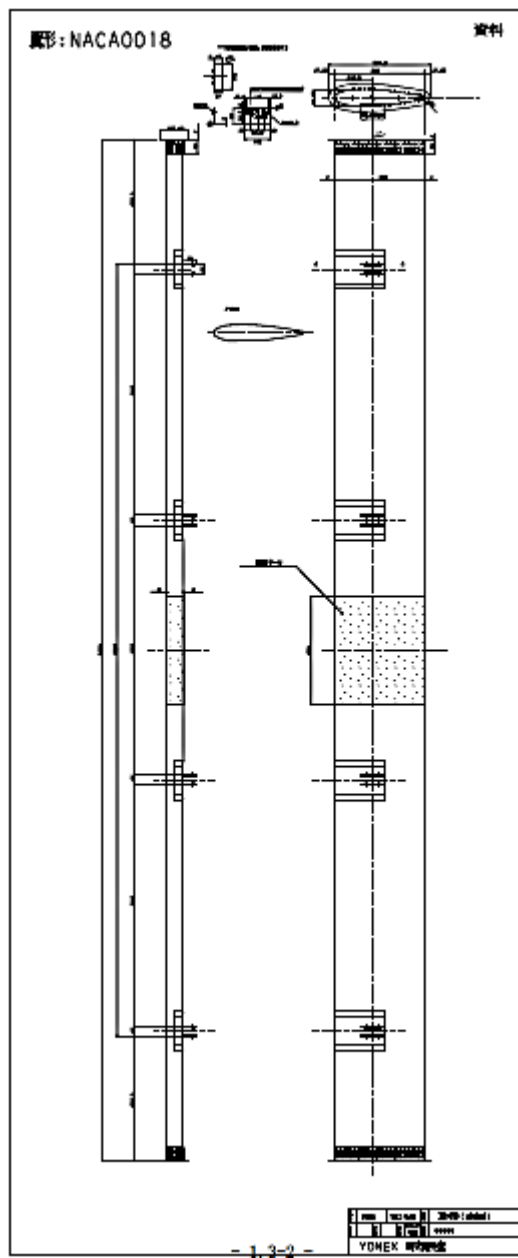
本仕様書は日本の風況に適した風力発電機を目指して開発・設計されたCWGS小形風力発電機におけるブレードの仕様について記述します。

2 ブレード仕様

ブレード(翼)は垂直軸を中心として回転する回転軸にストラットで固定される。3枚のブレードを、回転軸を中心とした120°ピッチに設ける。

項 目	仕 様
1. 主要目	
(1) 翼形	NACA0018
(2) ブレード高さ	6.5m
(3) 弦長	0.5m
(4) ブレード数	3枚
(6) 設計周速比(TSR)	$\lambda = 3.5$
(7) 最大風車効率係数(C_p)	$C_p = 0.3$
(8) ブレード材質	CFRP
(9) 重量	330N/枚
(10) 固定方法	ボルト M8×18本/1枚

図表 104 ブレード図面



1.4 ストラット仕様

図表 105 ストラット仕様

1 適用

本仕様書は日本の風況に適した風力発電機を目指して開発・設計されたCWGS小形風力発電機におけるストラットの仕様について記述します。

2 ストラット仕様

ストラットは垂直軸を中心として回転する回転軸とブレードを固定するものである。1枚のブレードと回転軸の固定には3本のストラットを用いる。

項 目	仕 様
1. 主要目	
(1)断面形状	中空翼形状
(2)ストラット全厚み	69mm
(3)ストラット幅	383mm
(4)ストラット長さ	3, 375mm
(5)ストラット本数	3本/1ブレード ×3ブレード
(6)ストラット材質	A6063S-T5(SSHO)
(7)重量	310N/本
(8)固定方法	ボルト M12×16本, M8×6本/1本

[illegible]

1.5 発電機ユニット仕様

図表 107 発電機ユニット仕様

1 適用

本仕様書は日本の風任に適した風力発電機を目指して開発・設計されたCWGS小形風力発電機における発電機ユニットについて記述します。

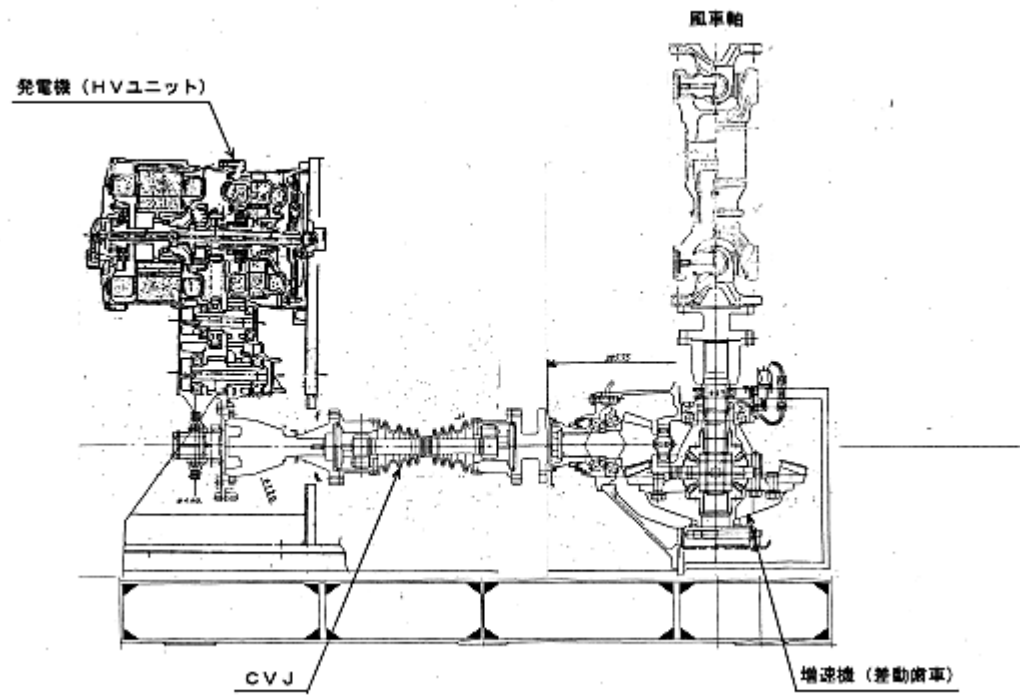
2 設備概要

風車が回転することによって風車に接続された風車軸が回転し、風車軸とカップリングによって接続された増速機によって回転数を高くし、シャフトで接続した発電機を回転させることによって発電を行う。

3 仕様

項 目	仕 様
1. 主要目	
(1) 定格出力	19.9kW (風速11m/s)
(2) カットイン風速	3m/s
(3) 定格風速	11m/s
(4) 運転最大風速(カットアウト)	
10分間平均風速	20m/s
(5) 風車最大回転数	95min ⁻¹
2. 発電機	
(1) タイプ	永久磁石型同期発電機 (HVユニット)
(2) 電圧	650V
(3) 最大回転数	2488min ⁻¹
(4) 最大トルク	150Nm
3. 増速機	
(1) タイプ	差動歯車
(2) 増速比	26.438/1
(3) 入力軸材質	SMnB45
4. 安全装置	
(1) メカフューズ	
設計トルク	10,000Nm
5. 冷却システム	
(1) インバータおよびトランスアクトル冷却	水冷、アルミラジエータ
(2) コア型式	コルダートフィン
(3) コア寸法	幅(88.2)mm×高さ600mm×厚さ16mm
(4) HVバッテリー冷却	ブロウモータ
6. 保安装置	
(1) パーキングブレーキ	エア式ディスクブレーキ
ブレーキ力	
エア圧0.85MPa時	10,000N
エア消失時	7,000N
ブレーキトルク	
エア圧0.85MPa時	8,500Nm
エア消失時	5,950Nm

図表 108 発電ユニット構成



1.6 運転シーケンス図

図表 109 運転シーケンス図1

1 目的

2 適用範囲

3 概要

本書には、風車に関する下記シーケンスを記載しております。

(1) 自動運転

(2) 運転条件確認

(3) 自動運転開始

(4) 自動運転停止

(5) 最大効率運転(周速比一定制御)

(6) 失速運転(テーブル制御)

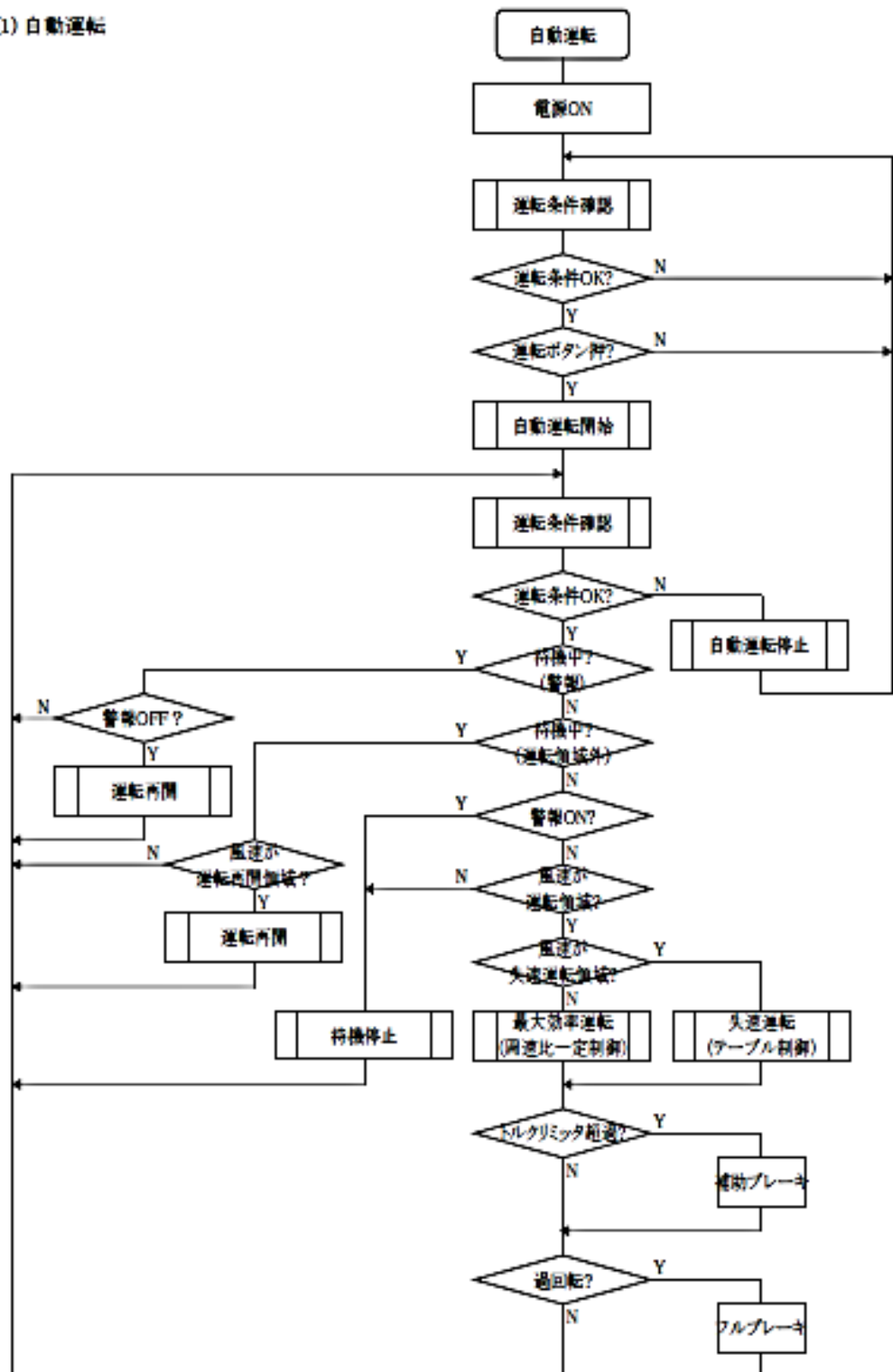
(7) 待機中

(8) 運転再開

(9) ソフトブレーキ

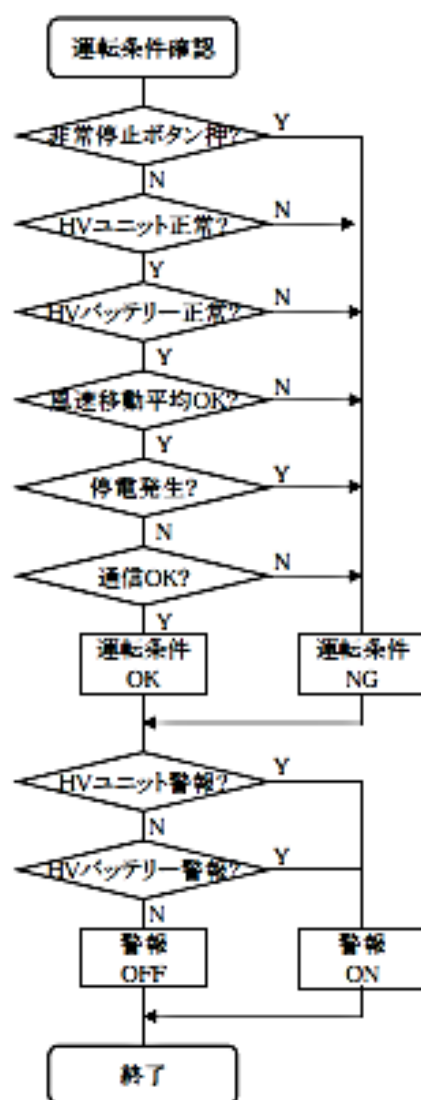
図表 110 運転シーケンス図2

(1) 自動運転

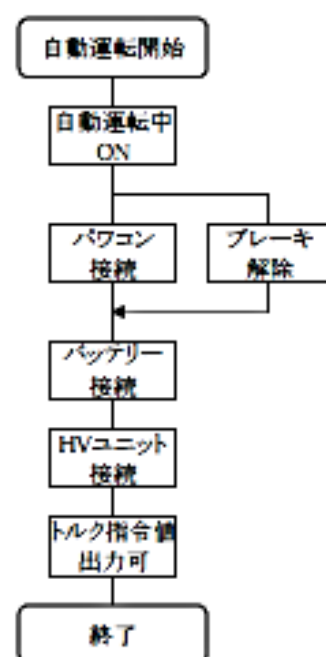


図表 111 運転条件確認シーケンス図3

(2) 運転条件確認

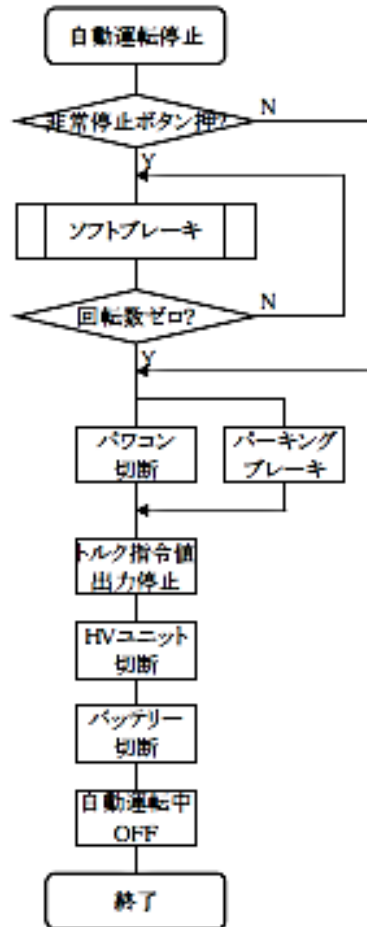


(3) 自動運転開始

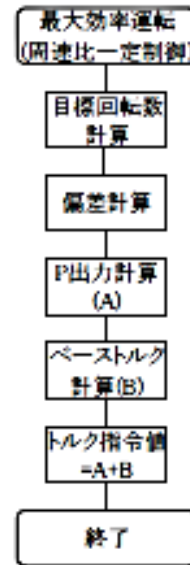


図表 112 運転シーケンス図4

(4) 自動運転停止



(5) 最大効率運転(周速比一定制御)

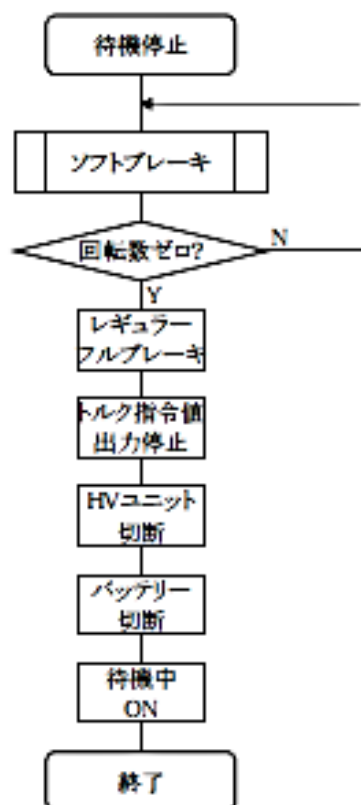


(6) 失速運転(テーブル制御)



図表 113 運転シーケンス図5

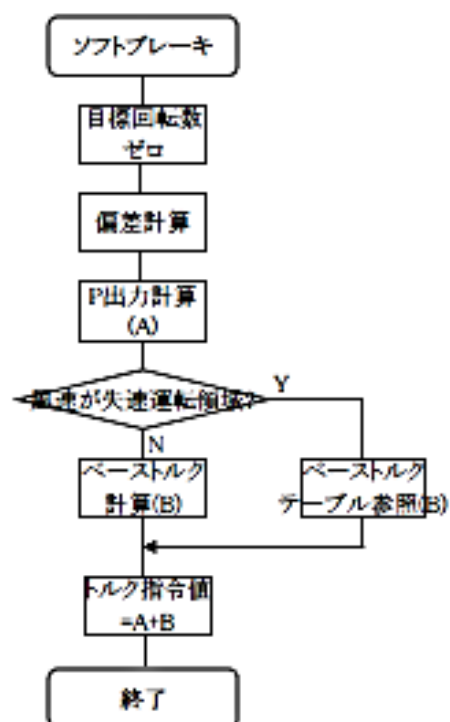
(7) 待機中



(8) 運転再開



(9) ソフトブレーキ



2 まとめと今後の見通し

最後にデザインレビューした結果による修正部分について今後製品仕様を変更して最終再度まとめを行う必要がある。これが事業化後の製品「取扱説明書」のベースとなる。

V-8. 認証相当試験

プロト2号機に対して、第3者機関による国際風車認証基準に基づいた、騒音試験を行った。試験は、騒音試験と性能試験に分かれる。

1 騒音測定方法

① 測定位置

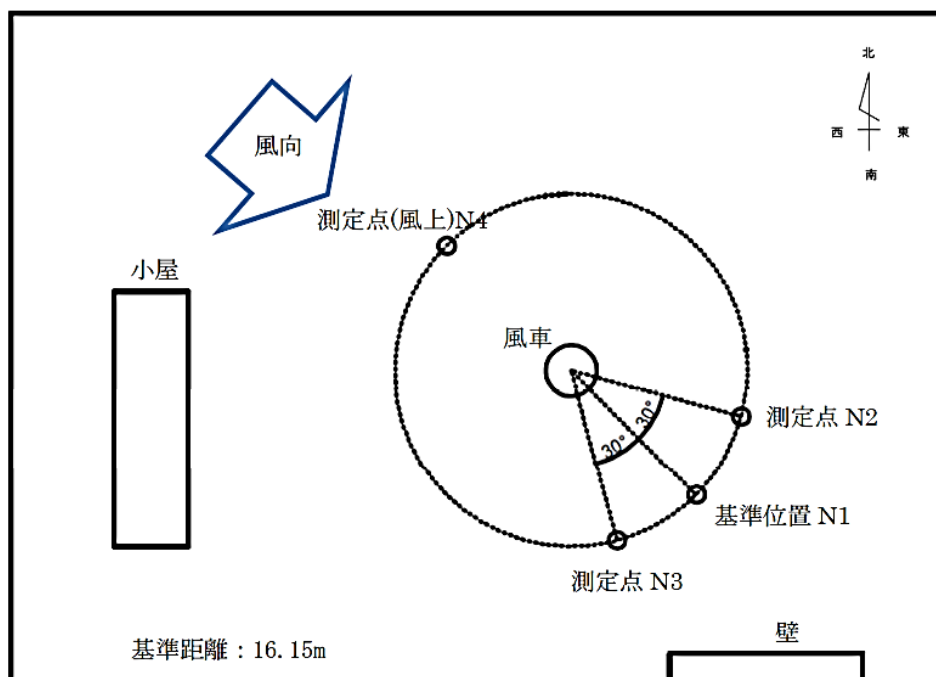
図表 114にて今回騒音を測定したマイクロホンの位置と図表 115にてその平面図を示す。

図表 114 マイクロホン位置

名称	風車中心からの水平距離 (m)	風車からの角度 (deg)	使用騒音計
N1 (基準位置)	13.5	110	NL62 00271134
N2 (基準位置から反時計回りに 30°)	15.5	90	NL62 00630450
N3 (基準位置から時計回りに 30°)	13.0	140	NL62 00260882
N4 (風上)	16.0	290	NL62 00260884

*基準距離 16.2m

図表 115 基準位置平面図



2 測定機材とデータ収集方法

図表 116にて、図表 117今回騒音測定に使用した機材を、図表 118にてデータ収集方法について示す。

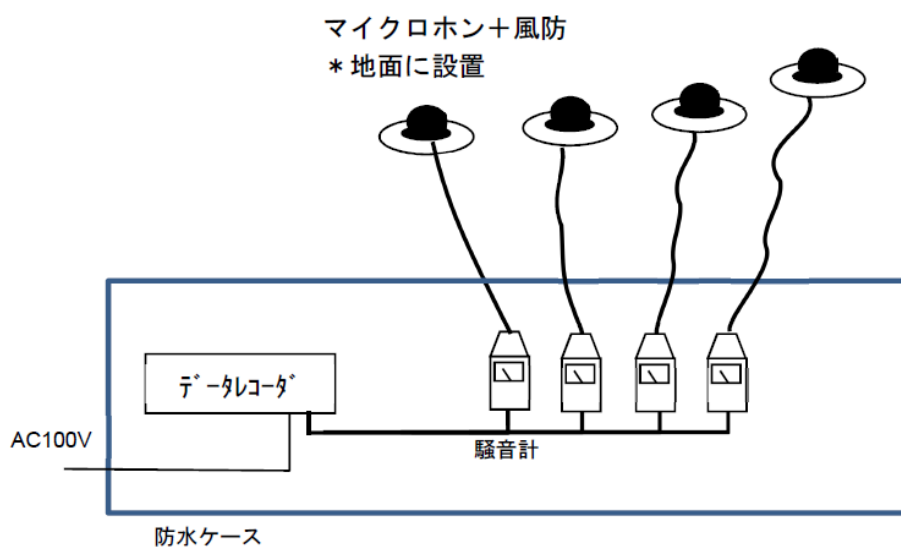
図表 116 使用測定機器

名称	形式	メーカー	個数	備 考
騒音計	NL62	リオン	4	JIS C 1509-1 準拠
データレコーダ	DA21	リオン	1	
風車音用風防	—	—	4	
音響校正器	NC72	リオン	1	
データロガー	NR600		1	風向風速データ取得用

図表 117 風車音測定用風防(円板直径 1m)



図表 118 測定ブロック図



3 データ解析方法

図表 119にて、今回測定した騒音データの分析方法を表す。

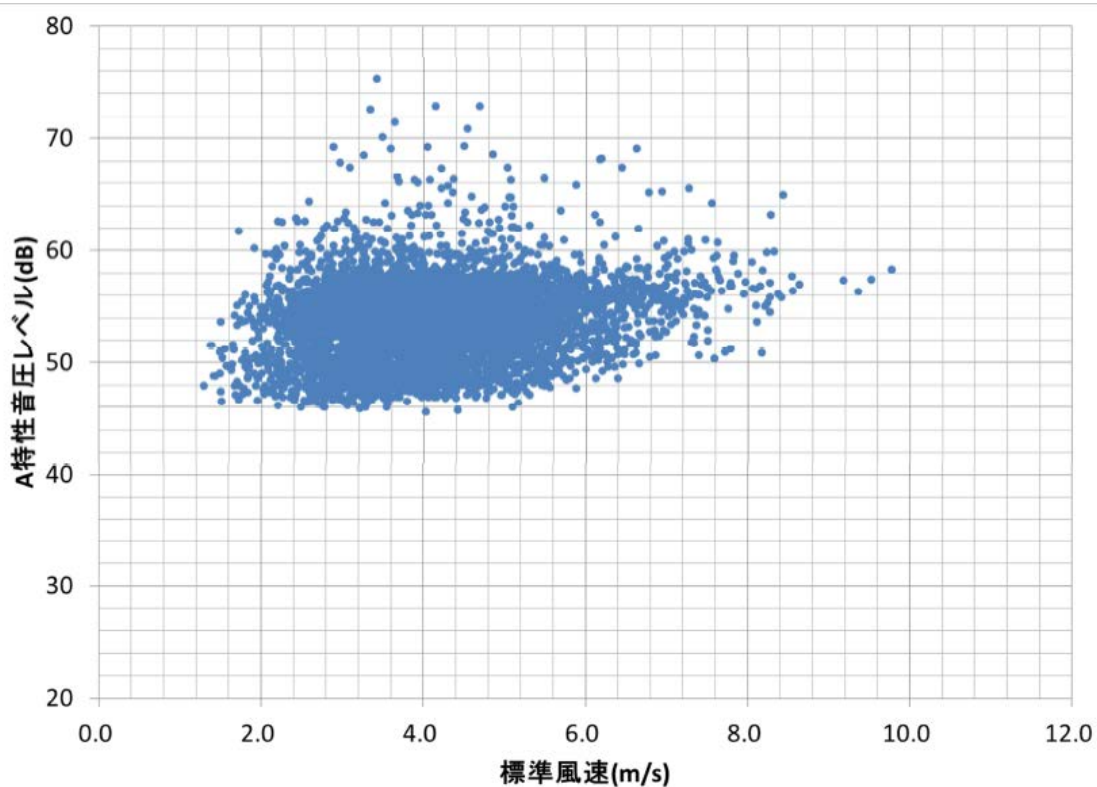
図表 119 データ解析

項目	分析方法	結果
騒音データ (稼働時、停止時)	1/3 オクターブバンド分析	周波数特性 (平均 10s)
	レベル分析	騒音レベル (等価騒音 レベル 10s)

4 結果と評価

図表 120にて、騒音測定データ分析結果を表す。

図表 120 騒音-風速測定結果(10秒平均値)



*本結果は、暗騒音の影響の排除処理を一切行っていない。

この表から明らかなように、標準風速時において、特に大型風車で問題になる低周波の騒音については、一切検知されず、プロト機と同タイプの小型風車においては、騒音による環境への影響はないものと判断できる。

VI. 事業化へ向けての体制構築

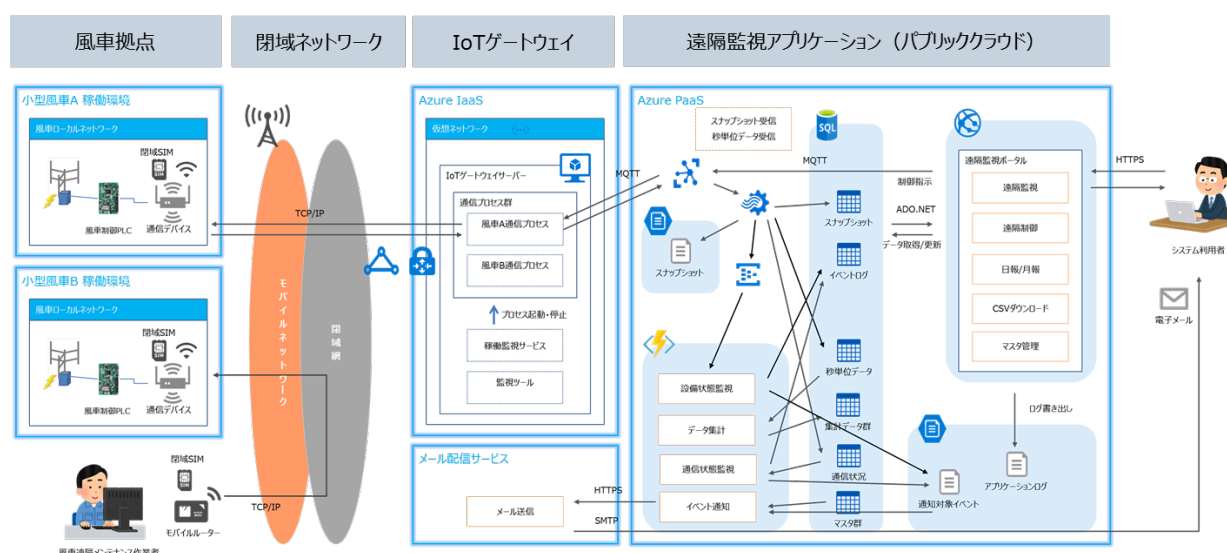
VI-1. 遠隔監視システムの構築

事業化へ向けて必要不可欠である「遠隔監視システム」の検証環境を構築、業務機能やインフラ構成、維持コスト試算を実施した。

- システム全体構成（図表 121）

検証環境のシステム全体構成は以下の通り。クラウドプラットフォームにはMicrosoft Azureを利用した。

図表 121 システム構成図



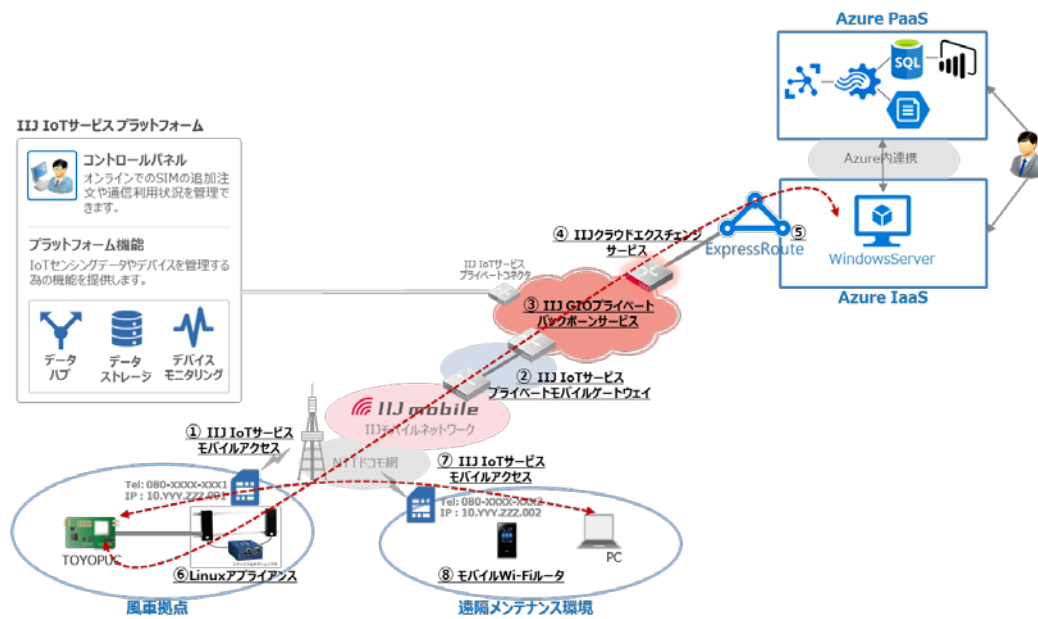
- 風車拠点

風車制御システム（PLC）とTCP/IPレベルのソケット通信を行うため、風車拠点ごとにローカルエリアネットワークを構成。外部とのネットワーク接続は3G/LTE通信モジュールを内蔵したLinuxアプライアンス機器を使用することとした。

- 閉域ネットワーク（図表 122）

風車拠点一クラウド間のネットワークは安全性および事業展開時の拡張性を確保できる構成を検討し、（株）インターネットイニシアチブ社が提供する閉域接続ネットワークを採用した。

図表 122 ネットワーク構成図

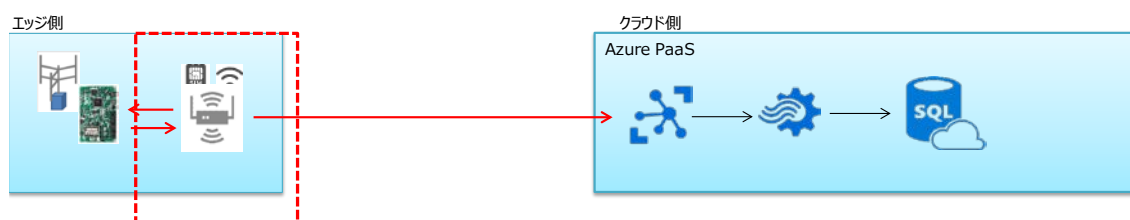


IoTゲートウェイ（図表 123、図表 124、図表 125）

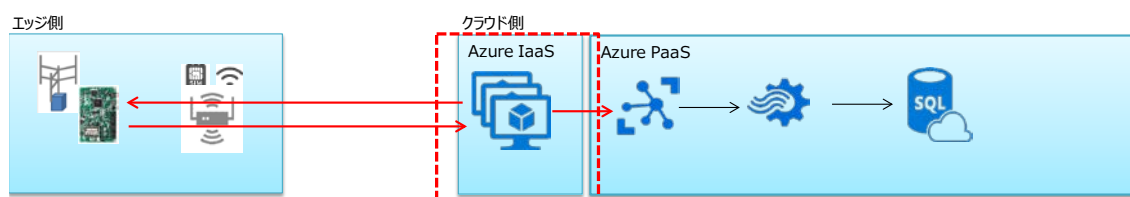
風車制御システムとの通信方式として2案検討したが、風車1基あたりのコストを考慮し「ゲートウェイサーバー方式」を採用。

ゲートウェイサーバーは、Microsoft AzureのIaaS環境に仮想ネットワークおよび仮想マシンを構成し、閉域網でIoTゲートウェイと風車制御システム間で相互通信できるようにした。

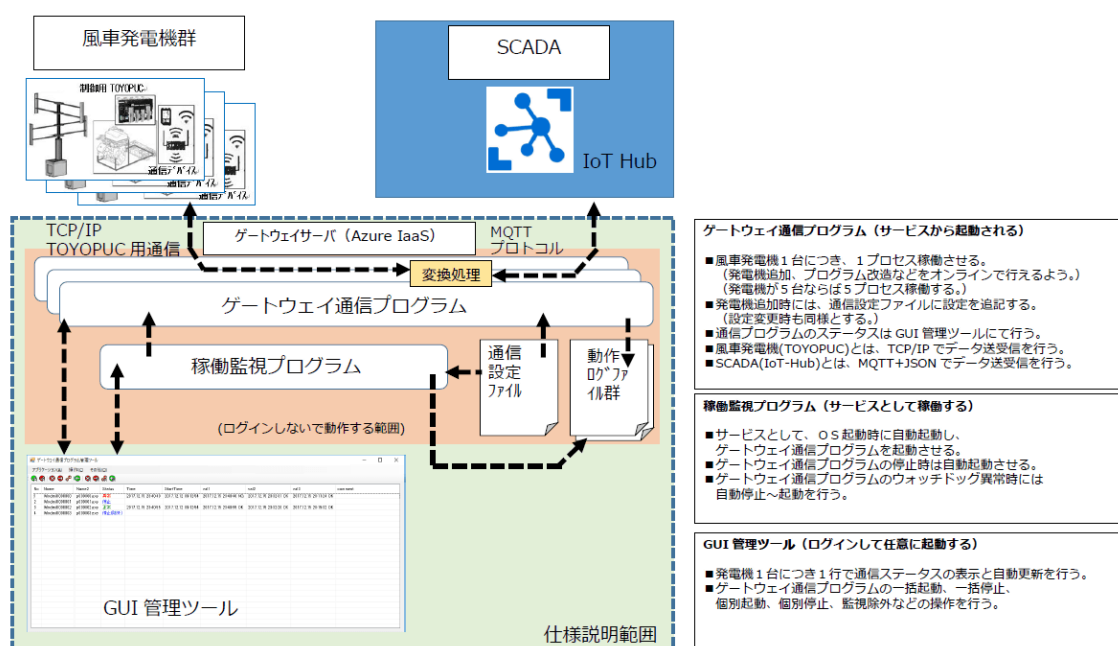
図表 123 検討案1：ゲートウェイデバイス方式



図表 124 検討案2：ゲートウェイサーバー方式



図表 125 IoTゲートウェイサーバー構成図



1 遠隔監視アプリケーション

遠隔監視アプリケーションはMicrosoft AzureのPaaS環境に構築し、事業展開時の拡張性を確保。また、マルチテナント（複数事業体の共同利用）にも対応した。

2 機能説明

遠隔監視アプリケーションとして構築、検証した機能は以下の通り。利用者はインターネットブラウザからID、パスワードを使ってシステムにログインし、利用者の権限に応じた機能を利用する。

1.) 遠隔監視

(a) 監視画面（図表 126、図表 127）

各種計測データを5秒間隔で表示更新する。

図表 126 監視画面（正常時）



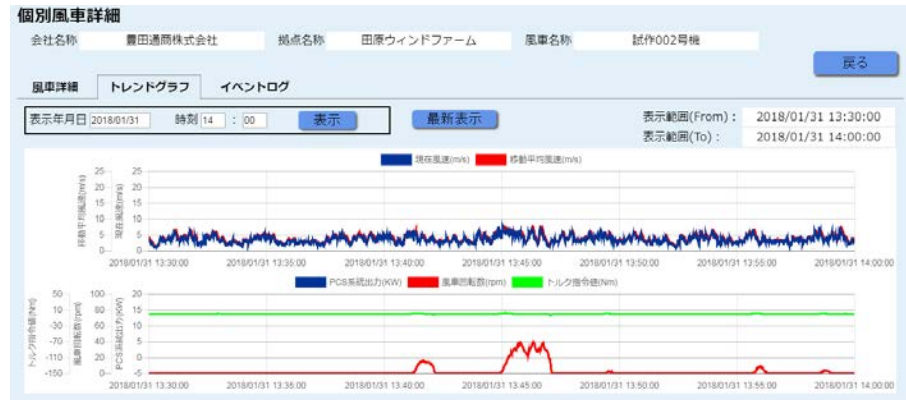
図表 127 監視画面（異常発生時）



(b) トレンドグラフ（図表 128）

指定した期間のトレンドグラフを表示する。

図表 128 トレンドグラフ画面



(c) イベントログ（図表 129）

風車設備で発生したイベントを直近100件表示する。

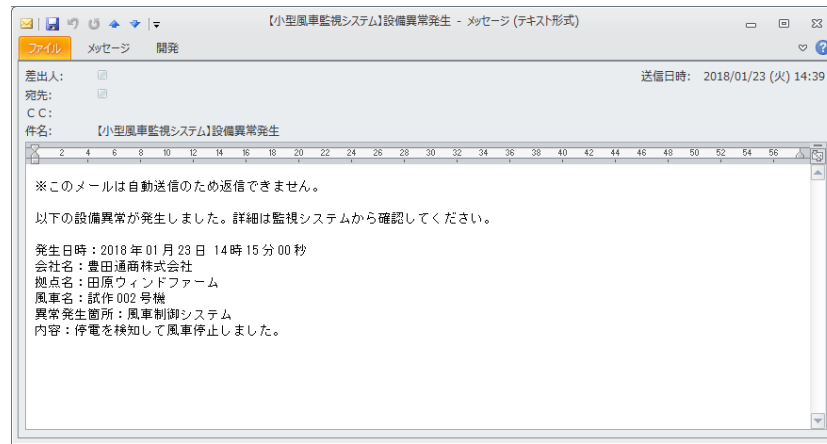
図表 129 イベントログ画面

個別風車詳細				
会社名称	豊田通商株式会社	拠点名称	田原ウィンドファーム	風車名称
				試作002号機
戻る				
風車詳細				
トレンドグラフ				
イベントログ				
最新表示				
最終更新日時: 2018/01/31 15:28:08				
発生時刻	発生元	発生・消滅	イベントメッセージ	
2018/01/31 14:51:46	風車制御システム	発生	カットイン風速以下のため待機状態になりました。	
2018/01/31 14:51:39	風車制御システム	発生	自動運転を開始しました。	
2018/01/31 14:46:39	風車制御システム	発生	運転復帰しました。	
2018/01/31 14:46:34	風車制御システム	発生	非常停止が押されました。	
2018/01/31 14:46:03	風車制御システム	発生	運転復帰しました。	
2018/01/31 14:45:58	風車制御システム	発生	自動運転を開始しました。	
2018/01/31 14:45:20	風車制御システム	発生	非常停止が押されました。	
2018/01/31 14:45:05	風車制御システム	発生	運転復帰しました。	
2018/01/31 14:44:45	風車制御システム	発生	カットイン風速以下のため待機状態になりました。	
2018/01/31 14:44:08	風車制御システム	発生	運転復帰しました。	
2018/01/31 14:43:31	風車制御システム	発生	カットイン風速以下のため待機状態になりました。	
2018/01/31 14:42:24	風車制御システム	発生	運転復帰しました。	
2018/01/31 14:41:00	風車制御システム	発生	カットイン風速以下のため待機状態になりました。	
2018/01/31 14:39:03	風車制御システム	発生	運転復帰しました。	

(d) イベント通知（図表 130）

異常などの重要なイベントが発生した際は関係者にメールで通知する。

図表 130 イベント通知メール



2.) 遠隔制御

監視画面から「運転開始」「異常リセット」「非常停止」の制御を指示する。
風車設備で作業（機側モード）時は遠隔制御を抑止。

3.) 日報・月報（図表 131）

1秒単位のログデータをバッチ集計し、表およびグラフで表示する。

図表 131 <日報画面>



4.) CSVダウンロード

1秒単位のログデータや集計データを期間指定しCSV形式でダウンロード

5.) マスタ管理

拠点、風車、利用者などの情報を管理する機能が必要だが、本検証では対象範囲外とした。

(e) 性能評価

事業拡大時にボトルネック発生が想定されるIoTゲートウェイサーバーに対し、シミュレーター1000台を接続した性能評価を実施。問題なく動作することを確認した。

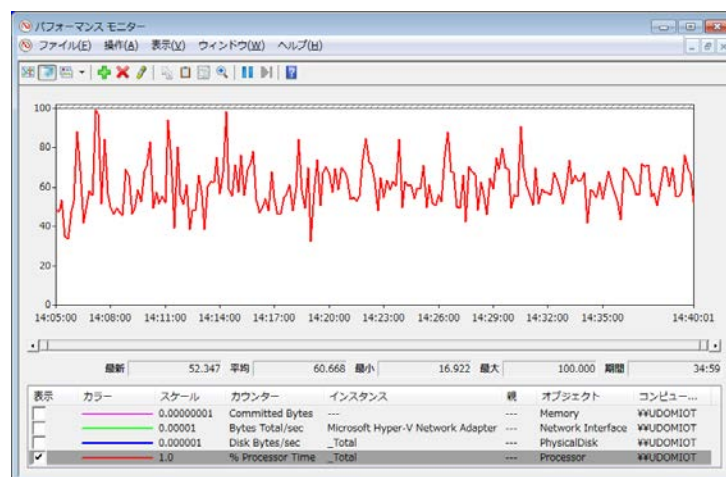
6.) 試験環境

- ✓ OS : Windows Server 2012 R2 (Microsoft Azure)
- ✓ CPU : Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2673 v4 @ 2.30GHz 2.29GHz
- ✓ Installed memory (RAM) : 8.00GB
- ✓ System type : 64-bit Operating System, x64-based processor

7.) CPU (図表 132)

平均60.668%

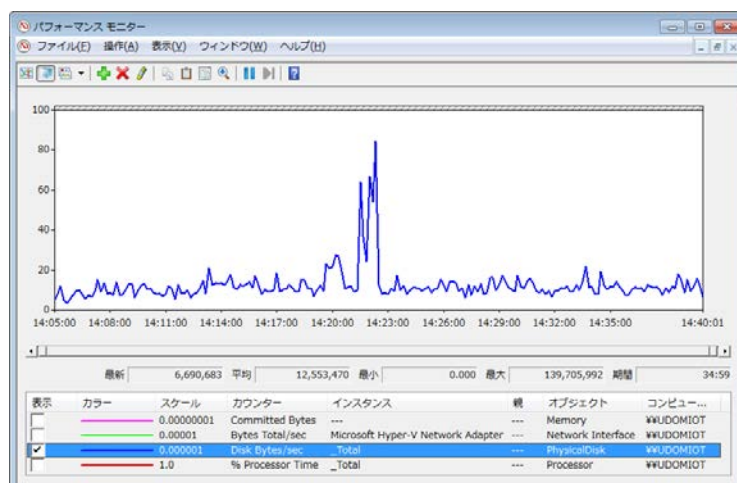
図表 132 試験環境でのCPU値グラフ



8.) ディスク使用率 (図表 133)

平均11.97MB/sec

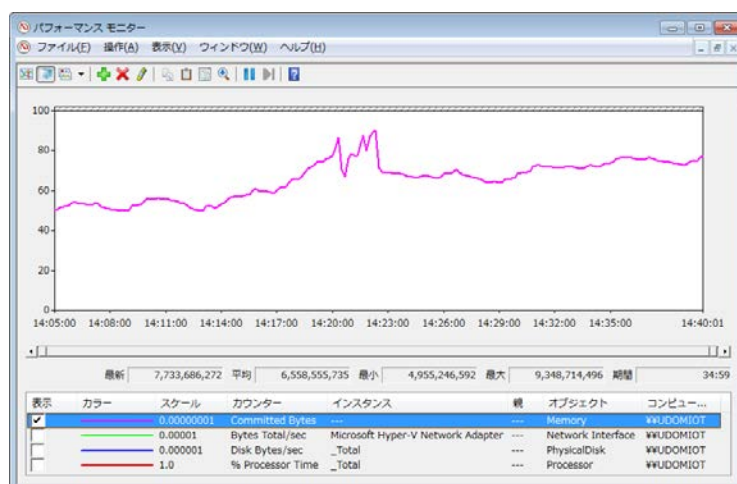
図表 133 試験環境でのディスク使用率グラフ



9.) メモリ (図表 134)

平均6.11GB

図表 134 試験環境でのメモリグラフ



3 今後の検討事項

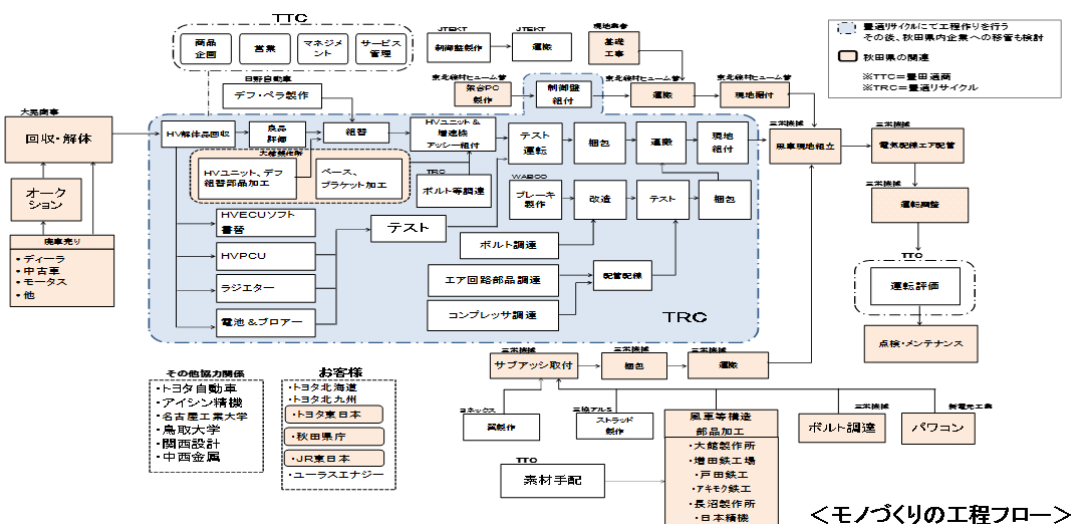
今後事業化に向け、各機能のブラッシュアップを行っていく必要がある。また、事業の運用スキーム決定にあわせ、拠点や風車、利用者などをシステム上で管理する機能の実装、運用ルール的设计を行っていく必要がある。

VI-2. サプライチェーンの構築

事業化へ向けて「量産体制」を前提とした「サプライチェーンの構築」に取り組んだ。

図表 135に今回構築した「サプライチェーン」を示す。

図表 135 モノづくりの工程フロー



図表 136 南極昭和基地向け風車



図表 135の中央青色部分は、第Ⅲ章で記載した風車発電ユニットであり、本事業の共同実施者である豊通りサイクルにて実施される工程である。。

この工程については、リユースの心臓部であり、事業開始当初は、トヨタグループ内で行うが、量産が拡大するにつれて順次、秋田県他、回収に現場に移管していく事も視野に入れている。

今後は、小型風車の普及に合わせて、秋田県と同じ「サプライチェーン」を他地域でも構築していく事も検討したい。

VI-3. SE 活動

前項で述べたサプライチェーンを構成する秋田県各企業の原価低減活動を支えるのが、本項でのSE活動である。本事業では、トヨタグループの中核である「アイシン精機（株）」「（株）ジェイテクト」の2社の協力を得て、この活動を行った。

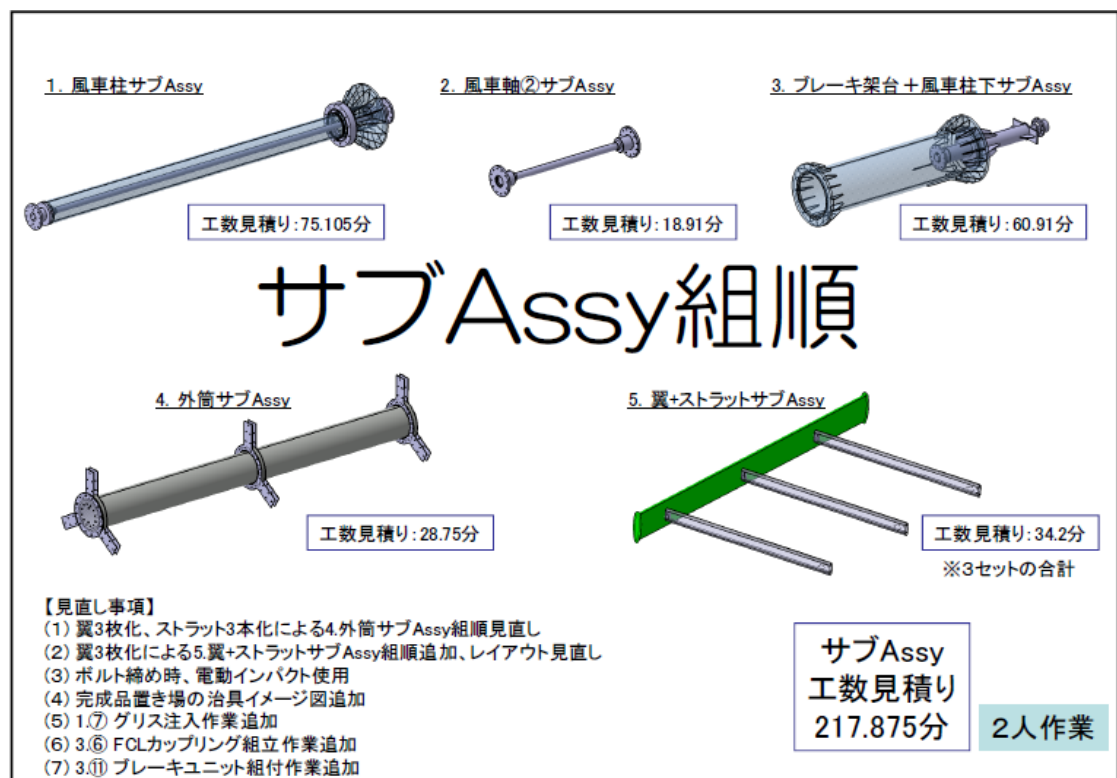
1 アイシン精機による SE 活動

該社にて、「風車サブアッシー組立」及び「現地総アッシー組順」についてSE活動を行った。

1-1 風車サブアッシー組立

図表 137にて、SE活動後の提案書のまとめを提示する。

図表 137 サブAssy組順



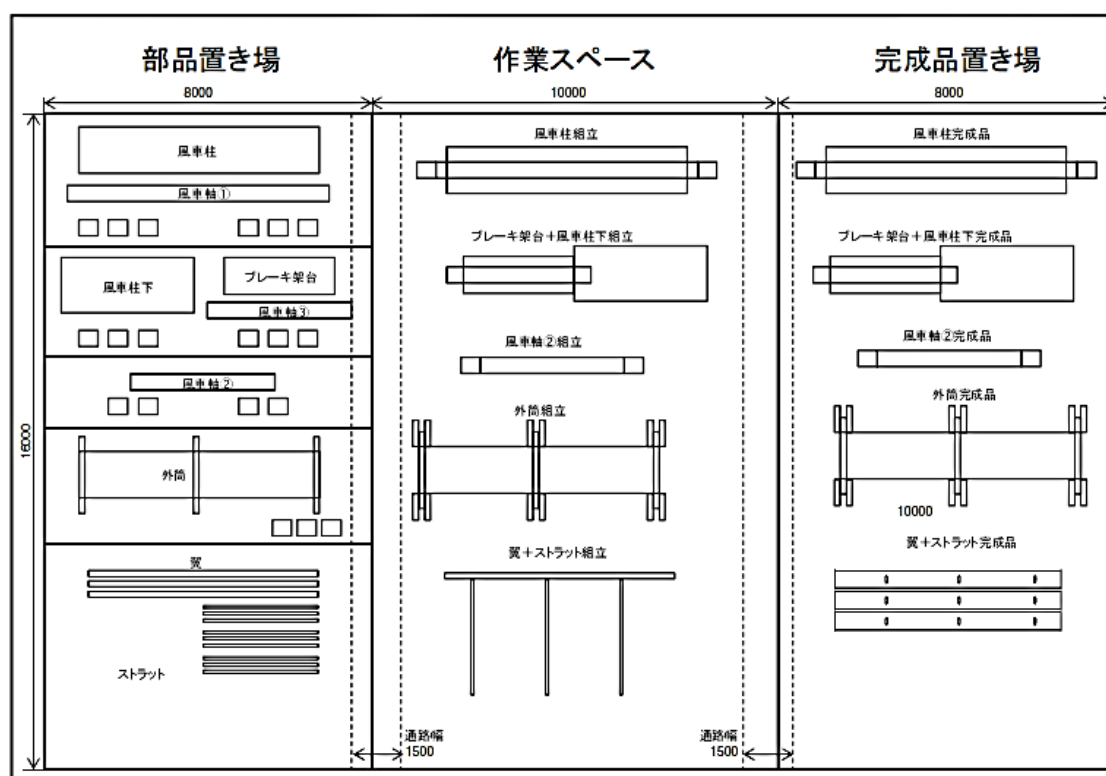
に示された通り、今回7つの「見直し事項」があり、全工数見積もりは2人作業前提で、217.875分となった。全体で5工程にて構成されている。

① 風車柱サブアッシー	75.11分
② 風車軸②サブアッシー	18.91分
③ ブレーキ架台+風車柱下サブアッシー	60.91分
④ 外筒サブアッシー	28.75分

全ての工程は、工程を構成する「要素作業」に分解され、各要素作業に2人で行う理論的な作業時間を積み上げた結果が上記①-⑤でその合計が図表 137である。

アイシン精機からは、同時にこの工程を行うための最適なレイアウトも提案（図表 138）されており、これは、今回前項で言及した秋田県三栄機械にて展開され、今後の事業化に生かさせる仕組みとなっている。

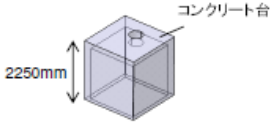
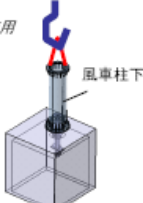
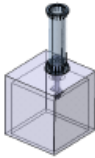
図表 138 サブAssyレイアウト 見直し事項(2)



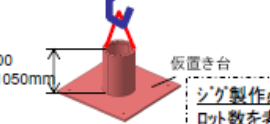
1-2 現地総アッシー組順

図表 139から図表 144にて、アイシン精機から提案された「現地総Assyファイル組順」について示す。総時間は、3人作業で238.59分である。

図表 139 現地総アッシー組順 工程1

①コンクリート座面の平面度が〇〇内であることを確認 5.0分	②風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット 13.0分	③18箇所でのM24スタッドボルトで固定 19.25分																																																																																																																																																																		
※高所作業 ※クレーン使用 	※高所作業 ※クレーン使用 																																																																																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>作業内容</th> <th>作業量</th> <th>作業時間 (分)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>B: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>C: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>D: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>E: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>F: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>G: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>H: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>I: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>J: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>K: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>L: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>M: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>N: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>O: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>P: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>18</td> <td>18</td> </tr> </tbody> </table>	作業内容	作業量	作業時間 (分)	A: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	B: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	C: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	D: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	E: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	F: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	G: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	H: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	I: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	J: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	K: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	L: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	M: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	N: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	O: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	P: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1	合計	18	18	<table border="1"> <thead> <tr> <th>作業内容</th> <th>作業量</th> <th>作業時間 (分)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>B: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>C: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>D: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>E: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>F: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>G: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>H: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>I: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>J: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>K: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>L: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>M: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>N: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>O: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>P: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>18</td> <td>18</td> </tr> </tbody> </table>	作業内容	作業量	作業時間 (分)	A: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	B: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	C: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	D: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	E: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	F: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	G: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	H: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	I: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	J: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	K: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	L: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	M: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	N: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	O: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	P: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1	合計	18	18	<table border="1"> <thead> <tr> <th>作業内容</th> <th>作業量</th> <th>作業時間 (分)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>B: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>C: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>D: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>E: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>F: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>G: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>H: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>I: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>J: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>K: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>L: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>M: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>N: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>O: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>P: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>18</td> <td>18</td> </tr> </tbody> </table>	作業内容	作業量	作業時間 (分)	A: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	B: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	C: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	D: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	E: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	F: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	G: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	H: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	I: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	J: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	K: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	L: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	M: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	N: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	O: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	P: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1	合計	18	18
作業内容	作業量	作業時間 (分)																																																																																																																																																																		
A: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
B: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
C: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
D: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
E: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
F: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
G: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
H: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
I: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
J: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
K: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
L: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
M: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
N: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
O: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
P: 18箇所の平面度を〇〇以内であることを確認	1	1																																																																																																																																																																		
合計	18	18																																																																																																																																																																		
作業内容	作業量	作業時間 (分)																																																																																																																																																																		
A: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
B: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
C: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
D: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
E: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
F: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
G: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
H: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
I: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
J: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
K: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
L: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
M: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
N: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
O: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
P: 風車柱下を吊り、コンクリート座面上にセット	1	1																																																																																																																																																																		
合計	18	18																																																																																																																																																																		
作業内容	作業量	作業時間 (分)																																																																																																																																																																		
A: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
B: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
C: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
D: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
E: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
F: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
G: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
H: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
I: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
J: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
K: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
L: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
M: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
N: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
O: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
P: 18箇所でのM24スタッドボルトで固定	1	1																																																																																																																																																																		
合計	18	18																																																																																																																																																																		
		風車柱下設置 工数見積り 37.25分																																																																																																																																																																		

図表 140 現地総アッシー組順 工程2

④仮置き台を地面に固定 見直し事項(9) 7.0分	⑤風車柱を選び、仮置き台に固定する 18.0分	⑥クレーンのフックを外す 5.5分																																																																																																			
※クレーン使用 1000 ~ 1050mm ※仮置き台: 2000kg前後 ※シグ製作必要 シグを設計・製作、固定方法、使い勝手、組立 レイアウト等検討 	※クレーン使用 	※高所作業 ※クレーン使用 																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>作業内容</th> <th>作業量</th> <th>作業時間 (分)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A: 仮置き台を地面に固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>B: 仮置き台を地面に固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>C: 仮置き台を地面に固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>D: 仮置き台を地面に固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>E: 仮置き台を地面に固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>F: 仮置き台を地面に固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>G: 仮置き台を地面に固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>H: 仮置き台を地面に固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>I: 仮置き台を地面に固定</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>9</td> <td>9</td> </tr> </tbody> </table>	作業内容	作業量	作業時間 (分)	A: 仮置き台を地面に固定	1	1	B: 仮置き台を地面に固定	1	1	C: 仮置き台を地面に固定	1	1	D: 仮置き台を地面に固定	1	1	E: 仮置き台を地面に固定	1	1	F: 仮置き台を地面に固定	1	1	G: 仮置き台を地面に固定	1	1	H: 仮置き台を地面に固定	1	1	I: 仮置き台を地面に固定	1	1	合計	9	9	<table border="1"> <thead> <tr> <th>作業内容</th> <th>作業量</th> <th>作業時間 (分)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A: 風車柱を選び、仮置き台に固定する</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>B: 風車柱を選び、仮置き台に固定する</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>C: 風車柱を選び、仮置き台に固定する</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>D: 風車柱を選び、仮置き台に固定する</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>E: 風車柱を選び、仮置き台に固定する</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>F: 風車柱を選び、仮置き台に固定する</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>G: 風車柱を選び、仮置き台に固定する</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>H: 風車柱を選び、仮置き台に固定する</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>I: 風車柱を選び、仮置き台に固定する</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>9</td> <td>9</td> </tr> </tbody> </table>	作業内容	作業量	作業時間 (分)	A: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1	B: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1	C: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1	D: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1	E: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1	F: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1	G: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1	H: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1	I: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1	合計	9	9	<table border="1"> <thead> <tr> <th>作業内容</th> <th>作業量</th> <th>作業時間 (分)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A: クレーンのフックを外す</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>B: クレーンのフックを外す</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>C: クレーンのフックを外す</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>D: クレーンのフックを外す</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>E: クレーンのフックを外す</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>F: クレーンのフックを外す</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>G: クレーンのフックを外す</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>H: クレーンのフックを外す</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>I: クレーンのフックを外す</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>9</td> <td>9</td> </tr> </tbody> </table>	作業内容	作業量	作業時間 (分)	A: クレーンのフックを外す	1	1	B: クレーンのフックを外す	1	1	C: クレーンのフックを外す	1	1	D: クレーンのフックを外す	1	1	E: クレーンのフックを外す	1	1	F: クレーンのフックを外す	1	1	G: クレーンのフックを外す	1	1	H: クレーンのフックを外す	1	1	I: クレーンのフックを外す	1	1	合計	9	9
作業内容	作業量	作業時間 (分)																																																																																																			
A: 仮置き台を地面に固定	1	1																																																																																																			
B: 仮置き台を地面に固定	1	1																																																																																																			
C: 仮置き台を地面に固定	1	1																																																																																																			
D: 仮置き台を地面に固定	1	1																																																																																																			
E: 仮置き台を地面に固定	1	1																																																																																																			
F: 仮置き台を地面に固定	1	1																																																																																																			
G: 仮置き台を地面に固定	1	1																																																																																																			
H: 仮置き台を地面に固定	1	1																																																																																																			
I: 仮置き台を地面に固定	1	1																																																																																																			
合計	9	9																																																																																																			
作業内容	作業量	作業時間 (分)																																																																																																			
A: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1																																																																																																			
B: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1																																																																																																			
C: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1																																																																																																			
D: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1																																																																																																			
E: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1																																																																																																			
F: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1																																																																																																			
G: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1																																																																																																			
H: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1																																																																																																			
I: 風車柱を選び、仮置き台に固定する	1	1																																																																																																			
合計	9	9																																																																																																			
作業内容	作業量	作業時間 (分)																																																																																																			
A: クレーンのフックを外す	1	1																																																																																																			
B: クレーンのフックを外す	1	1																																																																																																			
C: クレーンのフックを外す	1	1																																																																																																			
D: クレーンのフックを外す	1	1																																																																																																			
E: クレーンのフックを外す	1	1																																																																																																			
F: クレーンのフックを外す	1	1																																																																																																			
G: クレーンのフックを外す	1	1																																																																																																			
H: クレーンのフックを外す	1	1																																																																																																			
I: クレーンのフックを外す	1	1																																																																																																			
合計	9	9																																																																																																			

図表 141 現地総アッシー組順 工程3

⑦外筒を吊り、風車軸に挿入

※高所作業
※クレーン使用

16.0分

⑧12箇所のM12ボルトでC部(風車柱と外筒)を固定

10.0分

⑨外筒頂部蓋と風車軸を組み付ける

※高所作業
※クレーン使用

24.5分

見直し事項(10)

通番	要領作業	作業工数 (分)		
		作業前	作業中	作業後
1	外筒の吊り上げ作業 吊り上げ作業中、吊り上げ作業後	0	1	1
2	外筒の吊り上げ作業 吊り上げ作業中、吊り上げ作業後	0	1	1
3	外筒の吊り上げ作業 吊り上げ作業中、吊り上げ作業後	0	0	1
4	外筒の吊り上げ作業 吊り上げ作業中、吊り上げ作業後	0	1	0
5	外筒の吊り上げ作業 吊り上げ作業中、吊り上げ作業後	0	1	0
6	外筒の吊り上げ作業 吊り上げ作業中、吊り上げ作業後	0	1	0
7	外筒の吊り上げ作業 吊り上げ作業中、吊り上げ作業後	0	0	15
8	外筒の吊り上げ作業 吊り上げ作業中、吊り上げ作業後	0	0	2
9	外筒の吊り上げ作業 吊り上げ作業中、吊り上げ作業後	1	1	0
10	外筒の吊り上げ作業 吊り上げ作業中、吊り上げ作業後	0	0	0

24.5

**風車柱+外筒設置
工数見積り
81.0分**

図表 142 現地総アッシー組順 工程4

[illegible]

図表 143 現地総アッシー組順 工程5

⑬外筒頂部蓋をクレーンで吊る

5.0分

※高所作業

※クレーン使用

選	要項作業	作業工数 (分)
		作業員A 作業員B 作業員C
1	A: クレーンで外筒頂部蓋を吊る B: クレーンで外筒頂部蓋を吊る C: クレーンで外筒頂部蓋を吊る	1 0 1
2	D: 外筒頂部蓋を吊る E: 外筒頂部蓋を吊る F: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 0
3	G: 外筒頂部蓋を吊る H: 外筒頂部蓋を吊る I: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
4	J: 外筒頂部蓋を吊る K: 外筒頂部蓋を吊る L: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
5	M: 外筒頂部蓋を吊る N: 外筒頂部蓋を吊る O: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
6	P: 外筒頂部蓋を吊る Q: 外筒頂部蓋を吊る R: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
7	S: 外筒頂部蓋を吊る T: 外筒頂部蓋を吊る U: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
8	V: 外筒頂部蓋を吊る W: 外筒頂部蓋を吊る X: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
9	Y: 外筒頂部蓋を吊る Z: 外筒頂部蓋を吊る AA: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
10	AB: 外筒頂部蓋を吊る AC: 外筒頂部蓋を吊る AD: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
11	AE: 外筒頂部蓋を吊る AF: 外筒頂部蓋を吊る AG: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
12	AH: 外筒頂部蓋を吊る AI: 外筒頂部蓋を吊る AJ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
13	AK: 外筒頂部蓋を吊る AL: 外筒頂部蓋を吊る AM: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
14	AN: 外筒頂部蓋を吊る AO: 外筒頂部蓋を吊る AP: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
15	AQ: 外筒頂部蓋を吊る AR: 外筒頂部蓋を吊る AS: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
16	AT: 外筒頂部蓋を吊る AU: 外筒頂部蓋を吊る AV: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
17	AW: 外筒頂部蓋を吊る AX: 外筒頂部蓋を吊る AY: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
18	AZ: 外筒頂部蓋を吊る BA: 外筒頂部蓋を吊る BB: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
19	BC: 外筒頂部蓋を吊る BD: 外筒頂部蓋を吊る BE: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
20	BF: 外筒頂部蓋を吊る BG: 外筒頂部蓋を吊る BH: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
21	BI: 外筒頂部蓋を吊る BJ: 外筒頂部蓋を吊る BK: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
22	BL: 外筒頂部蓋を吊る BM: 外筒頂部蓋を吊る BN: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
23	BO: 外筒頂部蓋を吊る BP: 外筒頂部蓋を吊る BQ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
24	BR: 外筒頂部蓋を吊る BS: 外筒頂部蓋を吊る BT: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
25	BU: 外筒頂部蓋を吊る BV: 外筒頂部蓋を吊る BW: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
26	BX: 外筒頂部蓋を吊る BY: 外筒頂部蓋を吊る BZ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
27	CA: 外筒頂部蓋を吊る CB: 外筒頂部蓋を吊る CC: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
28	CD: 外筒頂部蓋を吊る CE: 外筒頂部蓋を吊る CF: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
29	CG: 外筒頂部蓋を吊る CH: 外筒頂部蓋を吊る CI: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
30	CJ: 外筒頂部蓋を吊る CK: 外筒頂部蓋を吊る CL: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
31	CM: 外筒頂部蓋を吊る CN: 外筒頂部蓋を吊る CO: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
32	CP: 外筒頂部蓋を吊る CQ: 外筒頂部蓋を吊る CR: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
33	CS: 外筒頂部蓋を吊る CT: 外筒頂部蓋を吊る CU: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
34	CV: 外筒頂部蓋を吊る CW: 外筒頂部蓋を吊る CX: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
35	CY: 外筒頂部蓋を吊る CZ: 外筒頂部蓋を吊る DA: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
36	DB: 外筒頂部蓋を吊る DC: 外筒頂部蓋を吊る DD: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
37	DE: 外筒頂部蓋を吊る DF: 外筒頂部蓋を吊る DG: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
38	DH: 外筒頂部蓋を吊る DI: 外筒頂部蓋を吊る DJ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
39	DK: 外筒頂部蓋を吊る DL: 外筒頂部蓋を吊る DM: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
40	DN: 外筒頂部蓋を吊る DO: 外筒頂部蓋を吊る DP: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
41	DQ: 外筒頂部蓋を吊る DR: 外筒頂部蓋を吊る DS: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
42	DT: 外筒頂部蓋を吊る DU: 外筒頂部蓋を吊る DV: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
43	DV: 外筒頂部蓋を吊る DW: 外筒頂部蓋を吊る DX: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
44	DY: 外筒頂部蓋を吊る DZ: 外筒頂部蓋を吊る EA: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
45	EB: 外筒頂部蓋を吊る EC: 外筒頂部蓋を吊る ED: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
46	EE: 外筒頂部蓋を吊る EF: 外筒頂部蓋を吊る EG: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
47	EH: 外筒頂部蓋を吊る EI: 外筒頂部蓋を吊る EJ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
48	EK: 外筒頂部蓋を吊る EL: 外筒頂部蓋を吊る EM: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
49	EN: 外筒頂部蓋を吊る EO: 外筒頂部蓋を吊る EP: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
50	EQ: 外筒頂部蓋を吊る ER: 外筒頂部蓋を吊る ES: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
51	ET: 外筒頂部蓋を吊る EU: 外筒頂部蓋を吊る EV: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
52	EV: 外筒頂部蓋を吊る EW: 外筒頂部蓋を吊る EX: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
53	EX: 外筒頂部蓋を吊る EY: 外筒頂部蓋を吊る EZ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
54	EZ: 外筒頂部蓋を吊る FA: 外筒頂部蓋を吊る FB: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
55	FA: 外筒頂部蓋を吊る FB: 外筒頂部蓋を吊る FC: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
56	FB: 外筒頂部蓋を吊る FC: 外筒頂部蓋を吊る FD: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
57	FC: 外筒頂部蓋を吊る FD: 外筒頂部蓋を吊る FE: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
58	FD: 外筒頂部蓋を吊る FE: 外筒頂部蓋を吊る FF: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
59	FE: 外筒頂部蓋を吊る FF: 外筒頂部蓋を吊る FG: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
60	FF: 外筒頂部蓋を吊る FG: 外筒頂部蓋を吊る FH: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
61	FG: 外筒頂部蓋を吊る FH: 外筒頂部蓋を吊る FI: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
62	FH: 外筒頂部蓋を吊る FI: 外筒頂部蓋を吊る FJ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
63	FI: 外筒頂部蓋を吊る FJ: 外筒頂部蓋を吊る FK: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
64	FJ: 外筒頂部蓋を吊る FK: 外筒頂部蓋を吊る FL: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
65	FK: 外筒頂部蓋を吊る FL: 外筒頂部蓋を吊る FM: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
66	FL: 外筒頂部蓋を吊る FM: 外筒頂部蓋を吊る FN: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
67	FM: 外筒頂部蓋を吊る FN: 外筒頂部蓋を吊る FO: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
68	FN: 外筒頂部蓋を吊る FO: 外筒頂部蓋を吊る FP: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
69	FO: 外筒頂部蓋を吊る FP: 外筒頂部蓋を吊る FQ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
70	FP: 外筒頂部蓋を吊る FQ: 外筒頂部蓋を吊る FR: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
71	FQ: 外筒頂部蓋を吊る FR: 外筒頂部蓋を吊る FS: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
72	FR: 外筒頂部蓋を吊る FS: 外筒頂部蓋を吊る FT: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
73	FS: 外筒頂部蓋を吊る FT: 外筒頂部蓋を吊る FU: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
74	FT: 外筒頂部蓋を吊る FU: 外筒頂部蓋を吊る FV: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
75	FU: 外筒頂部蓋を吊る FV: 外筒頂部蓋を吊る FW: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
76	FV: 外筒頂部蓋を吊る FW: 外筒頂部蓋を吊る FX: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
77	FW: 外筒頂部蓋を吊る FX: 外筒頂部蓋を吊る FY: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
78	FX: 外筒頂部蓋を吊る FY: 外筒頂部蓋を吊る FZ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
79	FY: 外筒頂部蓋を吊る FZ: 外筒頂部蓋を吊る GA: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
80	FZ: 外筒頂部蓋を吊る GA: 外筒頂部蓋を吊る GB: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
81	GA: 外筒頂部蓋を吊る GB: 外筒頂部蓋を吊る GC: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
82	GB: 外筒頂部蓋を吊る GC: 外筒頂部蓋を吊る GD: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
83	GC: 外筒頂部蓋を吊る GD: 外筒頂部蓋を吊る GE: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
84	GD: 外筒頂部蓋を吊る GE: 外筒頂部蓋を吊る GF: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
85	GE: 外筒頂部蓋を吊る GF: 外筒頂部蓋を吊る GG: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
86	GF: 外筒頂部蓋を吊る GG: 外筒頂部蓋を吊る GH: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
87	GG: 外筒頂部蓋を吊る GH: 外筒頂部蓋を吊る GI: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
88	GH: 外筒頂部蓋を吊る GI: 外筒頂部蓋を吊る GJ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
89	GI: 外筒頂部蓋を吊る GJ: 外筒頂部蓋を吊る GK: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
90	GJ: 外筒頂部蓋を吊る GK: 外筒頂部蓋を吊る GL: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
91	GK: 外筒頂部蓋を吊る GL: 外筒頂部蓋を吊る GM: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
92	GL: 外筒頂部蓋を吊る GM: 外筒頂部蓋を吊る GN: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
93	GM: 外筒頂部蓋を吊る GN: 外筒頂部蓋を吊る GO: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
94	GN: 外筒頂部蓋を吊る GO: 外筒頂部蓋を吊る GP: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
95	GO: 外筒頂部蓋を吊る GP: 外筒頂部蓋を吊る GQ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
96	GP: 外筒頂部蓋を吊る GQ: 外筒頂部蓋を吊る GR: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
97	GQ: 外筒頂部蓋を吊る GR: 外筒頂部蓋を吊る GS: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
98	GR: 外筒頂部蓋を吊る GS: 外筒頂部蓋を吊る GT: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
99	GS: 外筒頂部蓋を吊る GT: 外筒頂部蓋を吊る GU: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
100	GT: 外筒頂部蓋を吊る GU: 外筒頂部蓋を吊る GV: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
101	GU: 外筒頂部蓋を吊る GV: 外筒頂部蓋を吊る GW: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
102	GV: 外筒頂部蓋を吊る GW: 外筒頂部蓋を吊る GX: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
103	GW: 外筒頂部蓋を吊る GX: 外筒頂部蓋を吊る GY: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
104	GX: 外筒頂部蓋を吊る GY: 外筒頂部蓋を吊る GZ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
105	GY: 外筒頂部蓋を吊る GZ: 外筒頂部蓋を吊る HA: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
106	GZ: 外筒頂部蓋を吊る HA: 外筒頂部蓋を吊る HB: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
107	HA: 外筒頂部蓋を吊る HB: 外筒頂部蓋を吊る HC: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
108	HB: 外筒頂部蓋を吊る HC: 外筒頂部蓋を吊る HD: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
109	HC: 外筒頂部蓋を吊る HD: 外筒頂部蓋を吊る HE: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
110	HD: 外筒頂部蓋を吊る HE: 外筒頂部蓋を吊る HF: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
111	HE: 外筒頂部蓋を吊る HF: 外筒頂部蓋を吊る HG: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
112	HF: 外筒頂部蓋を吊る HG: 外筒頂部蓋を吊る HH: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
113	HG: 外筒頂部蓋を吊る HH: 外筒頂部蓋を吊る HI: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
114	HH: 外筒頂部蓋を吊る HI: 外筒頂部蓋を吊る HJ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
115	HI: 外筒頂部蓋を吊る HJ: 外筒頂部蓋を吊る HK: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
116	HJ: 外筒頂部蓋を吊る HK: 外筒頂部蓋を吊る HL: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
117	HK: 外筒頂部蓋を吊る HL: 外筒頂部蓋を吊る HM: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
118	HL: 外筒頂部蓋を吊る HM: 外筒頂部蓋を吊る HN: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
119	HM: 外筒頂部蓋を吊る HN: 外筒頂部蓋を吊る HO: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
120	HN: 外筒頂部蓋を吊る HO: 外筒頂部蓋を吊る HP: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
121	HO: 外筒頂部蓋を吊る HP: 外筒頂部蓋を吊る HQ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
122	HP: 外筒頂部蓋を吊る HQ: 外筒頂部蓋を吊る HR: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
123	HQ: 外筒頂部蓋を吊る HR: 外筒頂部蓋を吊る HS: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
124	HR: 外筒頂部蓋を吊る HS: 外筒頂部蓋を吊る HT: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
125	HS: 外筒頂部蓋を吊る HT: 外筒頂部蓋を吊る HU: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
126	HT: 外筒頂部蓋を吊る HU: 外筒頂部蓋を吊る HV: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
127	HU: 外筒頂部蓋を吊る HV: 外筒頂部蓋を吊る HW: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
128	HV: 外筒頂部蓋を吊る HW: 外筒頂部蓋を吊る HX: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
129	HW: 外筒頂部蓋を吊る HX: 外筒頂部蓋を吊る HY: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
130	HX: 外筒頂部蓋を吊る HY: 外筒頂部蓋を吊る HZ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
131	HY: 外筒頂部蓋を吊る HZ: 外筒頂部蓋を吊る IA: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
132	HZ: 外筒頂部蓋を吊る IA: 外筒頂部蓋を吊る IB: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
133	IA: 外筒頂部蓋を吊る IB: 外筒頂部蓋を吊る IC: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
134	IB: 外筒頂部蓋を吊る IC: 外筒頂部蓋を吊る ID: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
135	IC: 外筒頂部蓋を吊る ID: 外筒頂部蓋を吊る IE: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
136	ID: 外筒頂部蓋を吊る IE: 外筒頂部蓋を吊る IF: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
137	IE: 外筒頂部蓋を吊る IF: 外筒頂部蓋を吊る IG: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
138	IF: 外筒頂部蓋を吊る IG: 外筒頂部蓋を吊る IH: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
139	IG: 外筒頂部蓋を吊る IH: 外筒頂部蓋を吊る II: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
140	IH: 外筒頂部蓋を吊る II: 外筒頂部蓋を吊る IJ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
141	II: 外筒頂部蓋を吊る IJ: 外筒頂部蓋を吊る IK: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
142	IJ: 外筒頂部蓋を吊る IK: 外筒頂部蓋を吊る IL: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
143	IK: 外筒頂部蓋を吊る IL: 外筒頂部蓋を吊る IM: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
144	IL: 外筒頂部蓋を吊る IM: 外筒頂部蓋を吊る IN: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
145	IM: 外筒頂部蓋を吊る IN: 外筒頂部蓋を吊る IO: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
146	IN: 外筒頂部蓋を吊る IO: 外筒頂部蓋を吊る IP: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
147	IO: 外筒頂部蓋を吊る IP: 外筒頂部蓋を吊る IQ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
148	IP: 外筒頂部蓋を吊る IQ: 外筒頂部蓋を吊る IR: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
149	IQ: 外筒頂部蓋を吊る IR: 外筒頂部蓋を吊る IS: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
150	IR: 外筒頂部蓋を吊る IS: 外筒頂部蓋を吊る IT: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
151	IS: 外筒頂部蓋を吊る IT: 外筒頂部蓋を吊る IU: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
152	IT: 外筒頂部蓋を吊る IU: 外筒頂部蓋を吊る IV: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
153	IU: 外筒頂部蓋を吊る IV: 外筒頂部蓋を吊る IW: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
154	IV: 外筒頂部蓋を吊る IW: 外筒頂部蓋を吊る IX: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
155	IW: 外筒頂部蓋を吊る IX: 外筒頂部蓋を吊る IY: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
156	IX: 外筒頂部蓋を吊る IY: 外筒頂部蓋を吊る IZ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
157	IY: 外筒頂部蓋を吊る IZ: 外筒頂部蓋を吊る JA: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
158	IZ: 外筒頂部蓋を吊る JA: 外筒頂部蓋を吊る JB: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
159	JA: 外筒頂部蓋を吊る JB: 外筒頂部蓋を吊る JC: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
160	JB: 外筒頂部蓋を吊る JC: 外筒頂部蓋を吊る JD: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
161	JC: 外筒頂部蓋を吊る JD: 外筒頂部蓋を吊る JE: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
162	JD: 外筒頂部蓋を吊る JE: 外筒頂部蓋を吊る JF: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
163	JE: 外筒頂部蓋を吊る JF: 外筒頂部蓋を吊る JG: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
164	JF: 外筒頂部蓋を吊る JG: 外筒頂部蓋を吊る JH: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
165	JG: 外筒頂部蓋を吊る JH: 外筒頂部蓋を吊る JI: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
166	JH: 外筒頂部蓋を吊る JI: 外筒頂部蓋を吊る JJ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
167	JI: 外筒頂部蓋を吊る JJ: 外筒頂部蓋を吊る JK: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
168	JJ: 外筒頂部蓋を吊る JK: 外筒頂部蓋を吊る JL: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
169	JK: 外筒頂部蓋を吊る JL: 外筒頂部蓋を吊る JM: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
170	JL: 外筒頂部蓋を吊る JM: 外筒頂部蓋を吊る JN: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
171	JM: 外筒頂部蓋を吊る JN: 外筒頂部蓋を吊る JO: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
172	JN: 外筒頂部蓋を吊る JO: 外筒頂部蓋を吊る JP: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
173	JO: 外筒頂部蓋を吊る JP: 外筒頂部蓋を吊る JQ: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
174	JP: 外筒頂部蓋を吊る JQ: 外筒頂部蓋を吊る JR: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
175	JQ: 外筒頂部蓋を吊る JR: 外筒頂部蓋を吊る JS: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
176	JR: 外筒頂部蓋を吊る JS: 外筒頂部蓋を吊る JT: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
177	JS: 外筒頂部蓋を吊る JT: 外筒頂部蓋を吊る JU: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
178	JT: 外筒頂部蓋を吊る JU: 外筒頂部蓋を吊る JV: 外筒頂部蓋を吊る	0 1 1
179	JU: 外筒頂	

図表 144 現地総アッシー組順 工程6

⑯クレーンで吊り、 ブレーキ架台に取付ける

24.25分

番号	要項作業	作業工数 (分)		
		作業員A	作業員B	作業員C
A	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
B	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
C	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる	1	1	1
D	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
E	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
F	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
G	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
H	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
I	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
J	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
K	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
L	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
M	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
N	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
O	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
P	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
Q	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
R	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
S	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
T	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
U	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
V	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
W	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
X	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
Y	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
Z	クレーンでブレーキ架台を吊り上げる			
合計		0.25	0.25	0.25

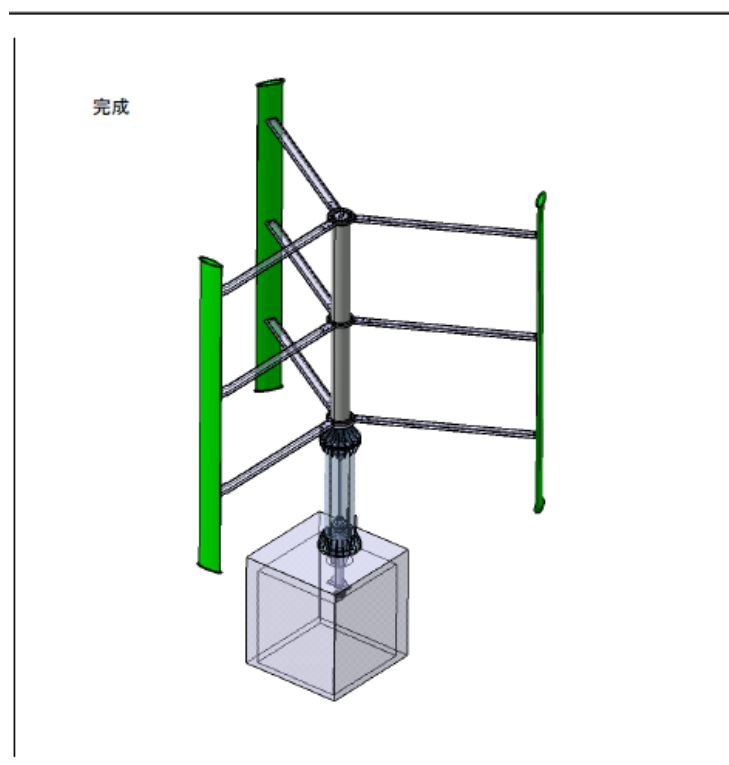
24.25

全部で次の16工程で構成されており、やはりそれぞれに要素作業に分解されその積み上げが報告されている。

① コンクリート座面平面度の確認	5. 00 分
② 風車柱下をコンクリート座面にセット	13. 00 分
③ 柱下、コンクリートをボルトで固定	19. 25 分
④ 仮置台を固定	7. 00 分
⑤ 風車柱を仮置台に固定	18. 00 分
⑥ クレーンで釣り上げ後フックの取り外し	5. 50 分
⑦ 外筒吊り上げ風車軸へ挿入	16. 00 分
⑧ 風車柱と外筒をボルトで固定	10. 00 分
⑨ 外筒頂部蓋と風車軸の組み付け	24. 50 分
⑩ 翼+ストラット吊り上げ	5. 00 分
⑪ 翼+ストラットに取付	19. 65 分
⑫ ⑩から⑪の繰り返しを2回	49. 30 分
⑬ 全体翼+ストラット吊り上げ、取り付け	24. 25 分

図表 145に最終組上がった新デザインの風車パース図を明示する。

図表 145 完成図



1-3 アイシン精機による SE 活動のまとめ

1-1, 1-2で算出された理論的に必要な作業時間とそれをベースとしたコストは、次の通りの計算で導かれる。

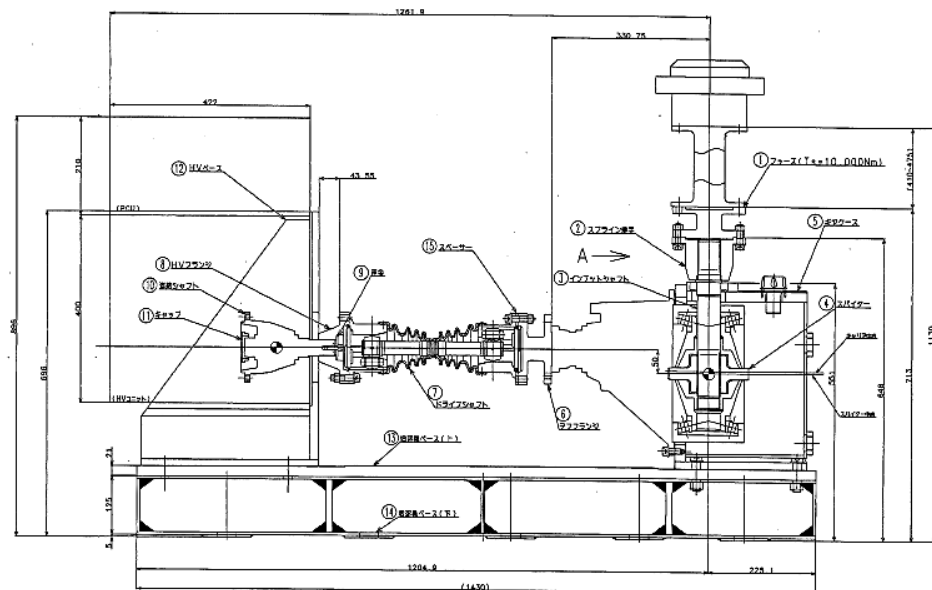
- ① $217.875分 \times 2人 \times 5,000円 / 60分 = 36,312.5円$
- ② $238.59分 \times 3人 \times 5,000円 / 60分 = 59,647.5円$
- ③ 合 計：①+②=95,960円

愛知県田原市に2017年3月に設置した、プロト2号機を製作する際に実査に要した人件費は、約466千円であったため、差額は約370千円となる工程を分類し、各工程を要素作業に分解し、前工程、後工程にて無駄がないように必要な治具も使用した工程設計を行うと作業が正確に、効率的に、しかも安全に行われ、結果的にコストが大幅に低減される事が、今回のSE活動の成果である。

2 ジェイテクトによる SE 活動

ジェイテクトでは、発電部ユニットに対するSE活動を行った。図表 146に担当分野を示す。

図表 146 ジェイテクト設計発電ユニット



図表 146上の①から⑭までが今回新たに設計された風車仕様のための部品である。今回は、この部品の製作に関するSE活動を行い部品単価の原価低減を試みた。

2-1 第1回目 SE 活動: 素材の鍛造化を検討

先ず図表 146上の部品①から⑭（⑤を除く）についてのSE活動を行った。これらの部品は、一旦、2017年3月愛知県田原市に設置したプロト2号機向けに設計され、

製作された。当時は、全ての部品を素材からの削り出し、加工、焼き入り等の工程で行う事で製作した。

今回のSE活動では、この工程を抜本的に見直して、素材からの一貫加工ではなく、1次加工として、素材の鍛造化を行い、その後の2次加工で仕上げを行う工程を基本に、図表 147で示す通り、各部品「量産仕様への変更事項」を明確にして、原価低減を試みた。

図表 147 SE提案一覧表

番号	Level	品名	図番 (2号機製作後に設定)	個数	質量	量産仕様への変更事項
1	001	フランジフューズ	JBA27-Y15503-A (FLANGE, UNIVERSAL JOINT)	1		
2	001	スプライン継手	JXA01-Y15505-A (BODY, JIG)	1		粗材の鍛造化を検討する。 メススプライン加工はブローチ加工を検討する。
3	001	インプットシャフト	JCA11-Y15503-A (SHAFT, DRIVE AXLE)	1		オススプライン加工の転造化を検討する。
4	001	スパイダー	JBA40-Y15501-A (SPIDER, UNIVERSAL JOINT)	1		粗材の鍛造化 メススプライン加工のブローチ化を検討する。
5	001	ギヤケース	JXA01-Y15502-C (BODY, JIG)	1		鋳物化を検討する
6	001	デフ側フランジ	JBA27-Y15502-A (FLANGE, UNIVERSAL JOINT)	1		(ドライブシャフトをプロペラシャフトに変更する場合には、使用しない。)
7	001	ドライブシャフト (ASSY)	JC010-Y15501-A (SHAFT ASSY, DRIVE FR)	1		コスト比較した上で、プロペラシャフトへの変更を検討する。
8	001	HV側フランジ	JBA27-Y15501-B (FLANGE, UNIVERSAL JOINT)	1		粗材の鍛造化を検討する。 メススプライン加工はブローチ加工を検討する。
9	001	座金 HVフランジ	JKA88-Y15501-A (WASHER)	1		
10	001	連結シャフト	JCA11-Y15502-C (SHAFT, DRIVE AXLE)	1		粗材の鍛造化を検討する。 オススプライン加工は転造化を検討する。
11	001	キャップ	JDC21-Y15501-A (CAP)	1		
12	001	HVユニットベース	JXA01-Y15501-C (BODY, JIG)	1		鋳物化を検討する(増速機ベースとは一体化しない)
13	001	増速機ベース(上)	JXA01-Y15503-B (上)(BODY, JIG)	1		鋳物化による一体化を検討する
14	001	増速機ベース(下)	JXA01-Y15504-B (下)(BODY, JIG)	1		

上記活動による成果が、図表 148である。各部品単価が低減されていることがわかる。

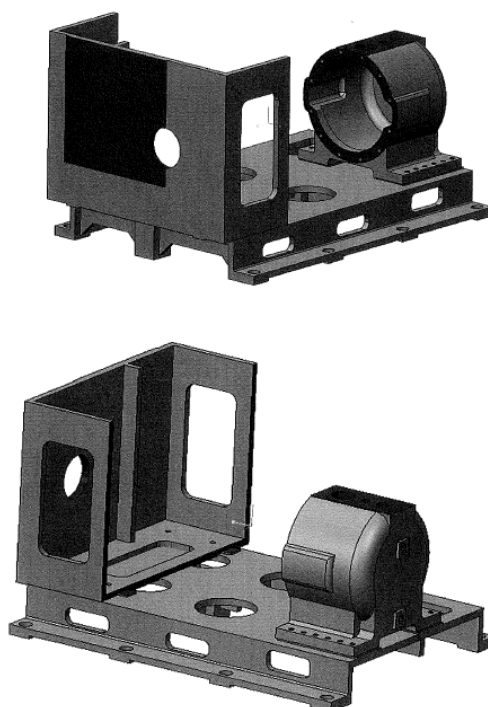
図表 148 SE提案前後コスト比較

		単位: (円/個)	
	活動前	活動後	
1	35,000	15,300	
2	98,000	33,000	
3	295,600	56,100	
4	140,000	48,200	
6	42,000	16,000	
7	175,000	60,000	
8	38,000	24,400	
9	4,500	3,300	
10	115,000	40,000	
11	6,200	4,800	
合計	949,300	301,100	

2-2 第2回目 SE 活動:素材の鋳物化を検討

図表 147にて第1回目に取り組まなかった部品⑤、⑫、⑬、⑭について基本的な考え方は、第1回目と同じで、工程を2つに分けて1次加工で素材を鋳物化する事により原価低減をする試みを行った。又、素材の無駄を省くために、一部設計変更も行った。これが、この活動の特徴であり、通常縦割りとなっている、設計と生産が一体となって、原価低減に対する知恵を出す事が、トヨタグループSE活動の本質である。図表 149にて鋳物化提案による検討図を示す。

図表 149 鋳物化アセンブリモデル検討図



2-3 ジェイテクトによる SE 活動のまとめ

図表 148で示した通り、今回のSE活動第1回目により、発電部ユニットの使用する部品単価が約65万円低減された。さらに、⑩の部品については、新規製作部品ではなく、既存の汎用部品に置き換える案も現在検討中である。第2回目については、今回検討図の作成までとなり、具体的な金額による定量化まではできなかったのも、今後、原価低減額を正確に計算する課題が残っている。

3 SE 活動まとめ

トヨタグループでは、改善活動に終わりは無い。今回も対象が限定されており、今後全ての工程へのSE活動を行っていく必要がある。

VII. 出口戦略の構築

VII-1. FITを利用したビジネスモデルの構築(フェーズ 1)

HVユニットをリユースした小型風車は、大量生産によりコストが下がる見込みであるが、一定規模に達するまでの初期段階でのコスト低減は厳しい状況にある。生産台数を稼ぐための初期段階の事業機会の1つに、JR東日本エネルギー開発（以下、JREED）をパートナーとして、JR沿線沿いに小型風力を群設置するというアイデアが存在する。

しかしながら、本ビジネスアイデアを含め、現行FITでの群設置は大型風力認定（FIT22円）となり、採算性が確保できない。

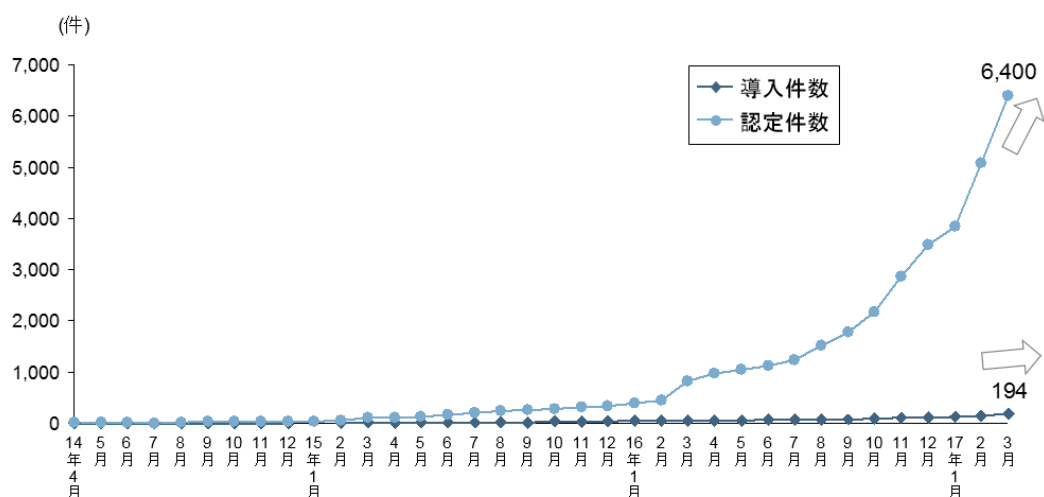
そこで、経済産業省資源エネルギー庁（以下、METI）の理解を得て、FIT55円の適用または群設置向けFIT新設（以下、新FIT）を狙い、大量生産の契機にしたいと考えている。時を同じくして、METIでも小型風力FIT見直しを進めている。

また将来的には、大型風力並のFITでも対応可能なビジネスモデルの検討や、国内・海外の市場把握を行い、事業計画の作りこみを行いたいと考えている。このような背景のもと、フェーズ1として、先ず、経済産業省資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部新エネルギー課（以下、METI）との接触を行い、FIT55円の適用および新FIT設定の可能性を探り、その実現に向けた活動を行った。

1 FIT55 円の適用または新 FIT の創設の必要性を認識させるためのロジック構築

小型風力の認定件数がここにきて急増しており、今後のFIT負担額の増加が懸念される一方で、導入件数は、増えておらず、不確実性が高い。（図表 150）

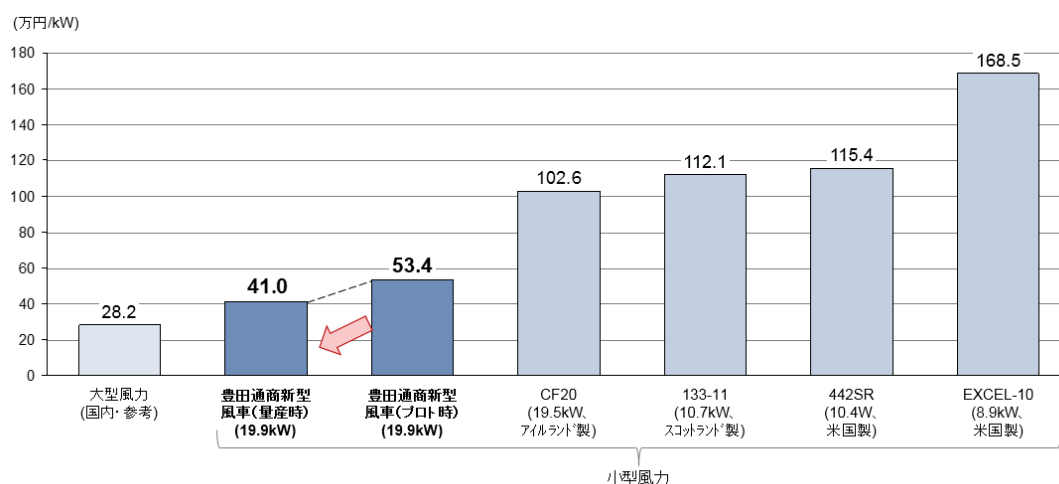
図表 150 小型風車(20kW未満)の累積導入件数と認定件数(移行分含まない)



出所:資源エネルギー庁

ただし、小型風車であっても量産できれば、現在の大型風力並みにコストを下げる
ことができる。量産には、一つの風車モデルに対して年間千基が目安となる。

図表 151 大型風車、同タイプ小型風車との比較(kW当りのイニシャルコスト)



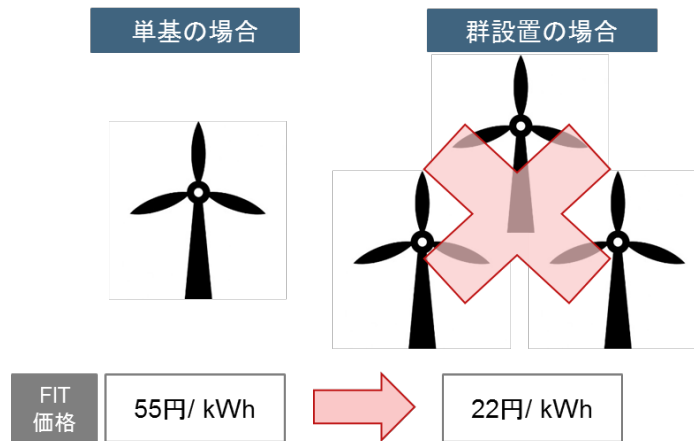
出所:風力発電強化研究会 報告書、実証レポートより抜粋

現状、一定規模の小型風力が安定的に導入される仕組みが無く、量産体制を確立
できない。小型風力を複数機設置(群設置)する場合は、大型風力と同じFIT価格に
なってしまうため、採算が合わない。

そのため、量産を行うには、一定規模の小型風車が計画的に導入できる「群設置」
が不可欠である。

小型風車の群設置がFITの対象となれば、計画的な小型風力の導入が進み、量産体
制を構築しやすくなる。量産が可能となり風車のコストが下がれば、それだけ早く
小型風力のFIT価格を下げるができる。(図表 151)

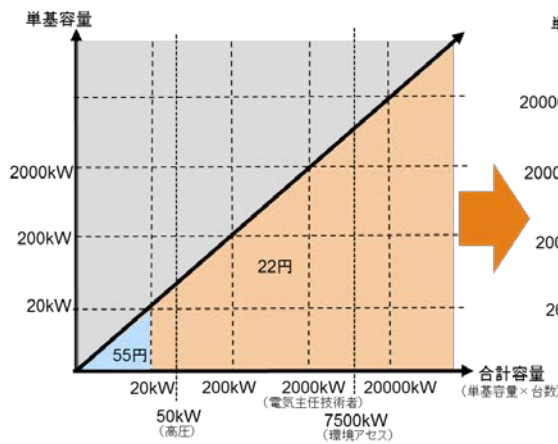
図表 152 現状のFIT(小型・大型区分)



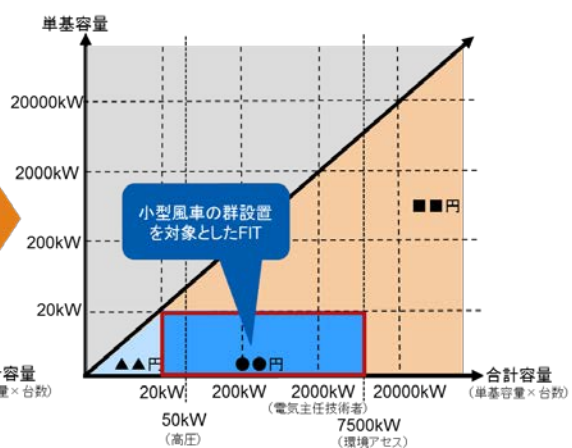
結論として、小型風力の安定的な導入による発電コスト・FIT価格の低下を目標に、小型風力の群設置向けにFITを整備できることが望ましい。(図表 152)

小型風車の群設置規模の上限をどこに設けるかは、精査が必要であり、考え方の案を後述する。当初の案としては、電気主任技術者が必要となる2,000kW、環境アセスメントが必要となる7,500kW等を考えていた。(図表153、図表154)、

図表 153 現状の風力向けFIT



図表 154 小型風力の群設置を考慮したFIT (イメージ)

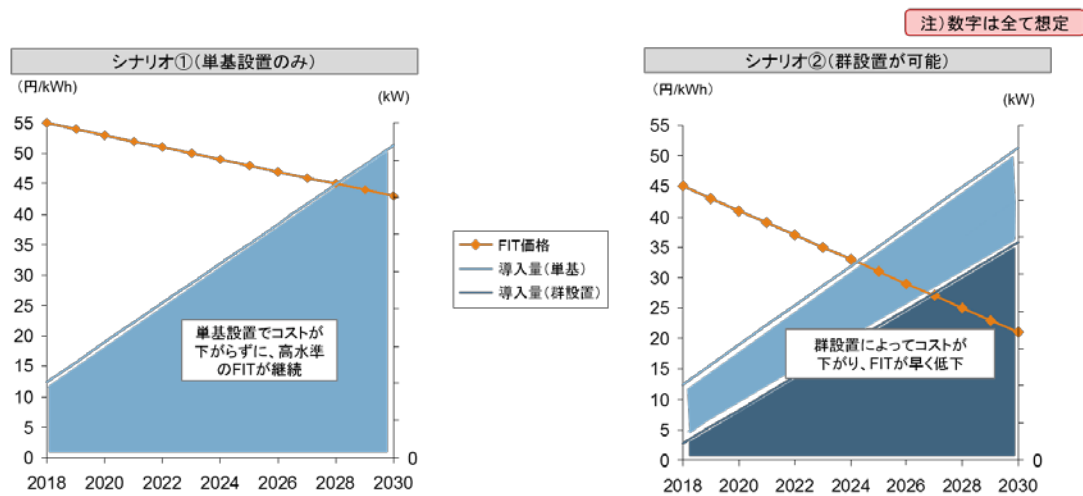


1-1 小型風力の群設置に取り組む利点

1-2 再エネ導入における国民負担の軽減

小型風車の群設置が可能となれば、一定台数が安定して導入されるようになり、小型風車メーカーが量産体制を構築できる。年間千基規模で量産できれば、風車の生産コストをプロトタイプ時より一段と下げることができる。風車の価格が早く下がれば、FIT価格もそれだけ早く下げることが可能になる。

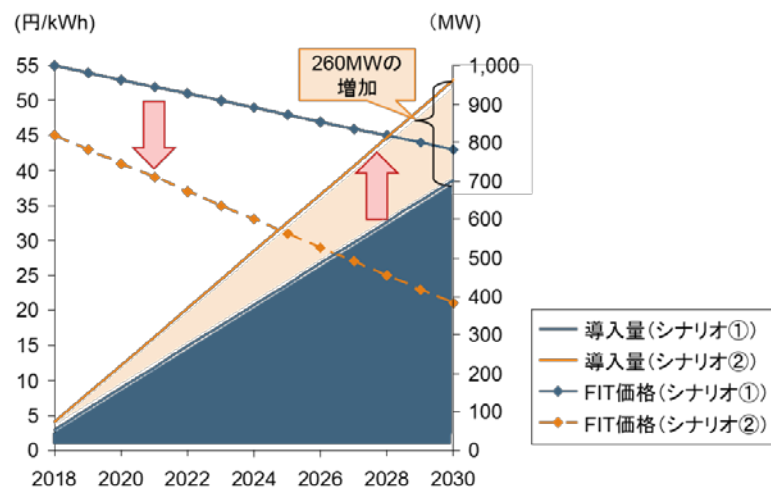
図表 155 小型風力のFITと導入量推移イメージ



FIT価格が下がるシナリオについて、仮定を置いて計算してみると、群設置を行って小型風力のFIT価格が下がれば、単基設置シナリオと同じFIT総額で2018～30年の間に4割程度多く小型風力の導入ができることが分かる。(図表 155)

- 現状シナリオ (①) で、単基設置が対象のFITが継続し、毎年同じ容量が導入された場合、2018年～2030年に導入された分の累計FIT総額は約5,500億円。
- 群設置シナリオ (②) で、①と同じFIT総額の場合、2018～2030年の間に260MW (シナリオ①の約1.4倍) 多く導入することができる。(図表 156、図表 157)

図表 156 単基と群設置シナリオのFIT価格・導入容量の推移



図表 157 シナリオ別の算出に用いた前提条件・試算結果(青字)

注)数字は全て想定

シナリオ	FIT対象	FIT価格 (2018年時点)	FIT低下額 (年)	新規増加容量 (kW/年)	FIT総額
①	単基のみ	55円	1円	*54,000	5,500億円
②	単基+ 群設置	45円 (単基・群設置で 一律と仮定)	2円	74,000	①と同じ

*2016年1～12月の小型風力認定容量×0.9(小型太陽光の実現率)をかけたもの

1-3 大型風力の課題を解決

大型風力導入における課題を、小型風力の群設置で解決できる。これにより、大型風力が設置しにくい場所においても風力導入が可能になる。(図表 158)

図表 158 小型群設置の効果

大型風力導入の課題		群設置による課題解決
調整 コスト	環境アセスメントや、景観への影響等から地元の調整がつかず、FIT開始後も導入量が伸びていない	7,500kWまでは環境アセスメントの対象にならない - 風車の高さが低いため、景観への影響が限定的である
発電・送電 コスト	日本では導入量が少なく国内メーカーは量産効果が出ないため、風車価格が下がらない	群設置を通して小型風力の導入量が伸びれば、国内メーカーが量産体制を整えることができ、風車価格を下げるができる
	需要家から離れた地点に導入されるため、送電網の増強に伴う追加コストが発生する	需要家近接型の設置が可能であり、送電網への影響が限定的である
設置場所 の制限	設置場所の制限(風況、敷地、環境等)が多い	- 設置場所の制限が大型風車に比べて少ないため、風況が良くても大型が設置できない場所に設置できる - 系統の空き容量が多い立地を選んで、設置することが可能である

出所: 風力発電強化研究会 報告書。
再生可能エネルギーの大量導入時代における政策課題に関する研究会 第一回配布資料

1-4 事業者に対するコントロール(図表 159)

このまま単位設置で小型風力の導入が進めば、事業者数が多く増えて、事業者に対するコントロールがききにくくなる可能性がある。陽光発電の場合は、事業者数が増加して、設置・施工不良等が事故に繋がるケースが発生している。

群設置の場合は、ある程度の事業規模となるため実施する事業者が限られて、事業者への監視の目が行き届きやすくなる。

図表 159 太陽光発電の原因区分別不具合事例(2014年12月時点)

	メガソーラー	家庭向け	中小規模	総計
経年劣化	—	2	—	2
製造不良	4	1	—	5
設計・設置・施工不良	7	13	4	24
メンテナンス不良	4	1	—	5
偶発的事故その他	3	—	—	3

出所: 平成26年度新エネルギー等導入促進基礎調査(太陽光発電設備の健全性等に関する調査) 報告書

1-5 安全性の高い小型風車

小型風力の破損や誤作動による事故が発生し、設置地域において問題となっている。青森県横浜町は、事故や住民からの苦情を受けて、小型風力のガイドラインを作成している。また、外国製の小型風車はマニュアルも簡易なものが散見される。

群設置によって日本メーカーが量産できれば、日本製の安全性の高い小型風車の普及を後押しできる。(図表160、図表161)

図表 160 国の研究会における小型風力の安全面への言及

- ・「小形風力(20kW未満)については、調整コスト等が低く導入が容易なため導入量・認定量が急増している一方で、安全上のトラブル等が発生していることをどのように考えるか。」

出所: 再生可能エネルギーの大量導入時代における政策課題に関する研究会 第一回配布資料より抜粋

図表 161 小型風車の事故事例

- ・【2016年10月】
青森県横浜町にて、小型風力一基が強風で制御不能になり、大きな騒音被害となった。同風車には、強風時に風車を止める停止装置が設置されていたが作動しなかった。
- ・【2014年4月】
福岡市の公園に設置した小型風車が破損し、破片が車の窓ガラスを割る事件が発生した。

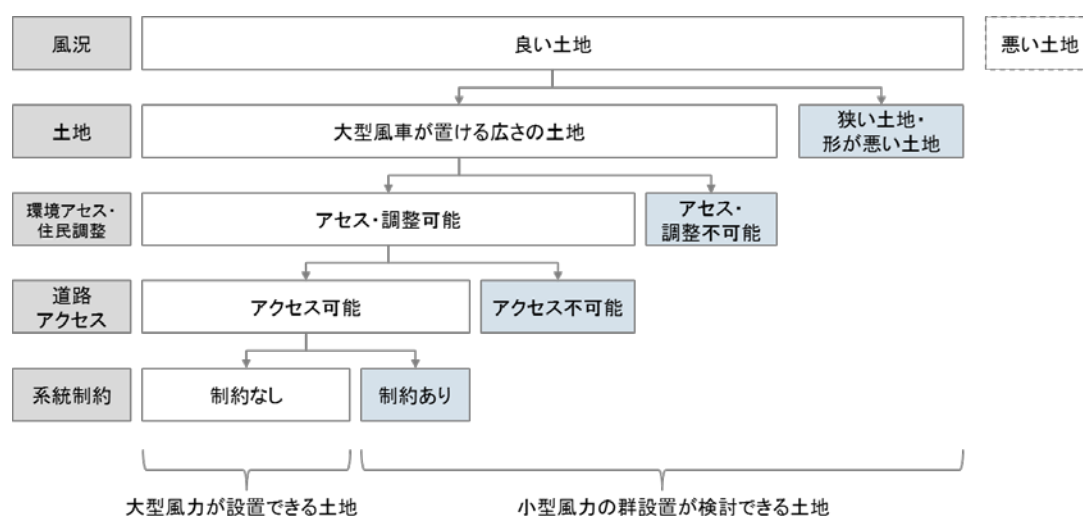
出所: 日本経済新聞、毎日新聞 記事より抜粋

2 小型風力の導入容量ポテンシャル

2-1 大型風車との設置場所住み分け

大型風力は設置場所の制約が多いため、風況が良くても設置できない場所が残っている。これらの土地に、小型風力を設置することで、大型と小型の住み分けができる。（図表 162）

図表 162 大型風力と小型風力の設置場所の住み分け



2-2 小型風力導入容量ポテンシャルの試算

(a) 線路脇の未使用地

小型風力の群設置を行う場所として、JR東日本やJR北海道が所有する線路脇の細長い土地がある。これらの土地は、風況は良いが、安全面や土地の形から、大型風力を設置することが難しい。

JR東日本やJR北海道が所有する土地の一部で、小型風車の導入可能性を検討したところ、既に合計で1,500基ほど設置できる見込みのある土地が見つかった。（図表 163）

図表 163 JR東日本とJR北海道の沿線で設置可能な小型風車基数（一部のみ）

鉄道会社	路線	設置可能基数* (合計)	容量(kW)
JR東日本	五能線	500	9,950
	津軽線	30	597
	大湊線	700	13,930
JR北海道	室蘭本線	10	199
	函館本線	256	5,094
合計		1,496	29,770

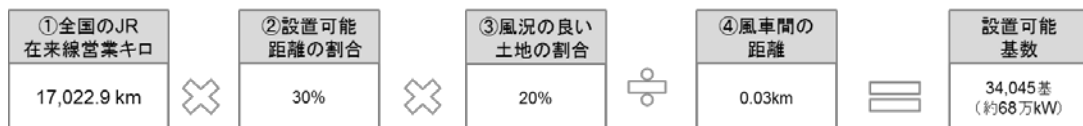
*豊田通商の新型風車(19.9kW)の場合

上記をもとに、日本全国のJRの線路脇土地への小型風力の導入容量ポテンシャルを試算すると、63万kWである。

【試算の前提条件】（図表 164）

1. 新幹線は除外し、在来線用地のみを対象
2. 線路際の用地で、JR 自身が所有し小型風車が設置できる距離の割合（30%と想定）をかける
3. 2 で算出した線路際の敷地面積に、風況の良い土地の割合（20%と想定）をかけて設置可能距離を算出
4. 3 の数字を、小型風車間に必要な距離（30m）で割って、導入基数を計算

図表 164 JRにおける小型風車設置可能基数



(b) 海岸線

海岸線距離から、小型風力の導入容量ポテンシャルを算出すると約45万kWとなる。

【海岸線 試算の前提条件】（図表 165）

1. 日本の海岸線距離に、小型風車が設置できる距離（20%を想定）をかける
2. 小型風車設置可距離のうち、風況の良い土地の割合（10%を想定）をかける

3. 2の数字を、小型風車間の距離で割って、設置可能基数を算出

図表 165 日本の臨海地域

日本の 海岸線距離	✕	小型風車 設置可能距離	✕	風況の 良い土地	⊕	小型風車の 間隔	=	設置可能基数
33,889km		20%		10%		30m		約22,600基 (約45万kW)

海岸線以外では、山間部や牧場にも小型風力の設置が可能であり、導入容量ポテンシャルは更に拡大する。

(c) 空港

日本全国には82の空港が存在（図表 166）しており、各空港の小型風車設置容量から全国のパテンシャルを算出できる。この中でも、会社管理空港の方が、自主的にエコ・エアポートの推進等を実施している可能性が高い。例えば、成田国際空港は、エコ・エアポートビジョン2030を策定し、環境負荷の削減に取り組んでいる。

図表 166 日本の拠点空港・地方管理空港の名称と数

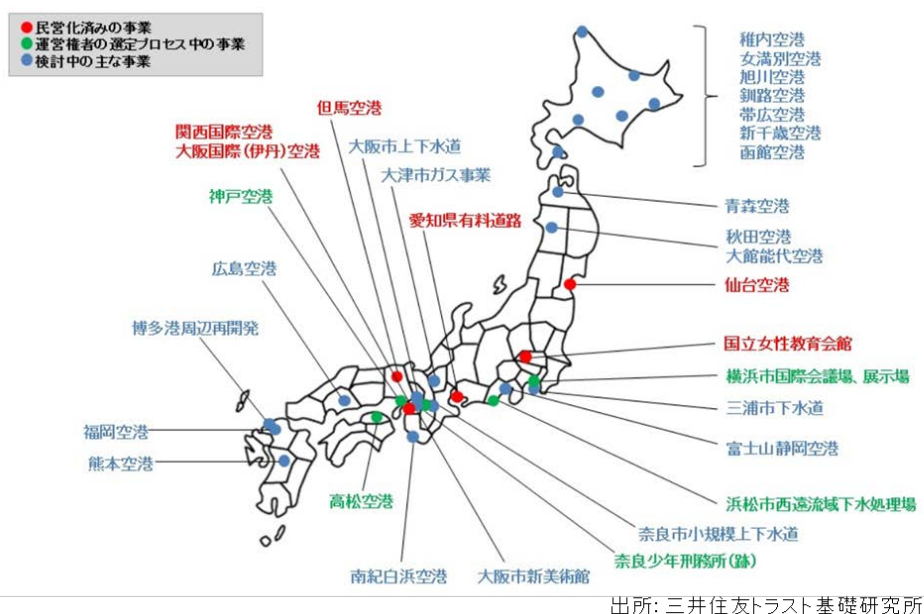
種別	空港名	空港数
会社管理空港 (会社が設置し管理)	成田国際空港 中部国際空港 関西国際空港 大阪国際空港	4
国管理空港 (国が設置し管理)	東京国際空港 新千歳空港 稚内空港 釧路空港 函館空港 仙台空港 新潟空港 広島空港 高松空港 松山空港 高知空港 福岡空港 北九州空港 長崎空港 熊本空港 大分空港 宮崎空港 鹿児島空港 那覇空港	19
特定地方管理空港 (国が設置し地方自治体が管理)	旭川空港 帯広空港 秋田空港 山形空港 山口宇部空港	5
地方管理空港 (地方自治地帯が設置し管理)	利尻空港 礼文空港 奥尻空港 中標津空港 紋別空港 女満別空港 青森空港 花巻空港 大館能代空港 庄内空港 福島空港 大島空港 新島空港 神津島空港 三宅島空港 八丈島空港 佐渡空港 松本空港 静岡空港 富山空港 能登空港 福井空港 神戸空港 南紀白浜空港 鳥取空港 隠岐空港 出雲空港 石見空港 岡山空港 佐賀空港 対馬空港 小値賀空港 福江空港 上五島空港 壱岐空港 種子島空港 屋久島空港 奄美空港 喜界空港 徳之島空港 沖永良部空港 与論空港 粟国空港 久米島空港 慶良間空港 南大東空港 北大東空港 伊江島空港 宮古空港 下地島空港 多良間空港 新石垣空港 波照間空港 与那国空港	54
合計	—	82

出所: 国交省HP

この中で、民間企業が空港のコンセッションに応募する際、事業計画の中にエコエアポートの推進を織り込むことが一般的で、小型風車の設置に興味を示す可能性が高い。

ただし、最終的に議論が必要なのは、事業計画を策定しコンセッションに応募する民間事業者となる。（図表 167）

図表 167 現在進行中のコンセッション事業



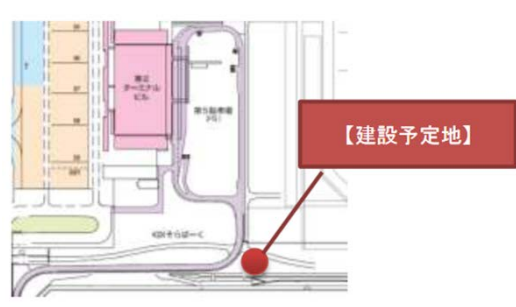
関西国際空港では、「スマート愛ランド構想」を掲げて、小さいエネルギーの導入を推進している。(図表169)

2014年度には、空港内の親水緑地公園に小型風車を導入し、小型風車を空港内に設置した場合の効果や影響について調査した。(図表168)

図表 168 調査項目（報道ベース）

- ・ 風速
- ・ 発電量
- ・ 騒音や低周波の影響
- ・ 航空機に対する視認
- ・ 電波障害

図表 169 小型風車設置場所



出所: Itmedia記事、プレスリリースより抜粋

その後、関西国際空港は、2016年2月に、2期島KIXそらばーく内に、ゼファー製風力発電機Zephyr9000（ゼファー9000）を2基設した。（5kW小形風力発電機×2基）約50kWh蓄電池を併設し、通常時には照明用の電源を供給しながら、非常用電源としても利用可能となっている。（図表 170）

図表 170 関西国際空港に設置されている小型風車



出所: プレスリリースより抜粋

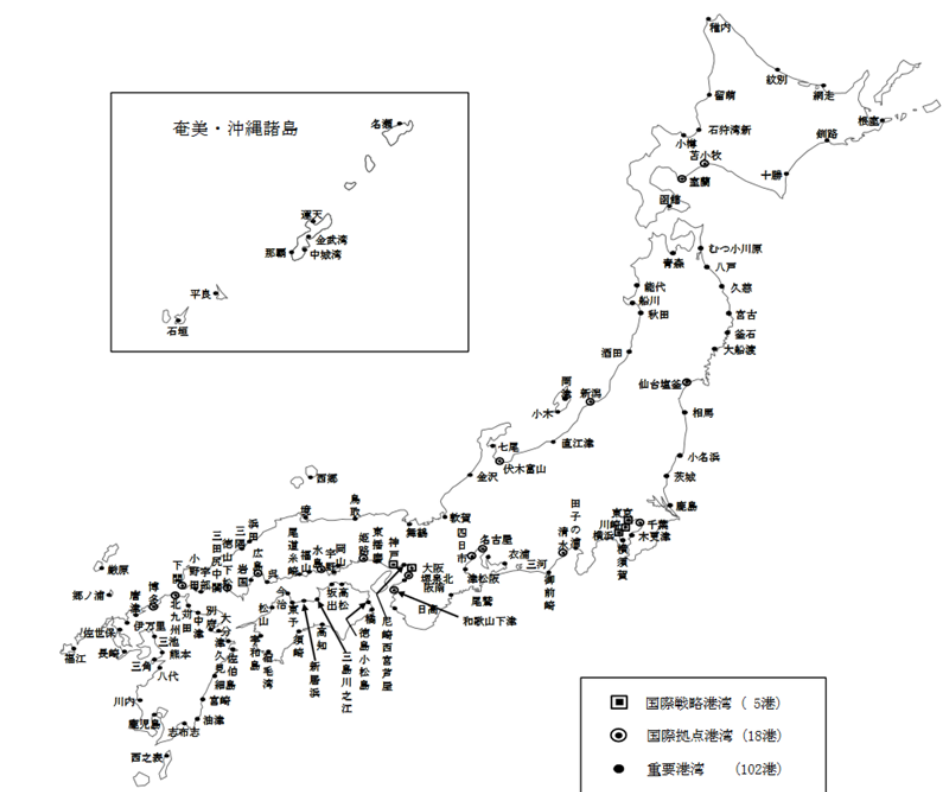
(d) 港湾

国際戦略港湾、国際拠点港湾、重要港湾が日本には125港存在（図表 171）している。

港湾も空港と同じように、国管理・自治体管理等があるが、民間会社の管理になっているのは、京浜港と阪神港である。

博多港については、現在コンセッションの話が進んでいる。

図表 171 国際戦略港湾、国際拠点港湾及び重要港湾位置図



出所:国交省HP

(e) 離島

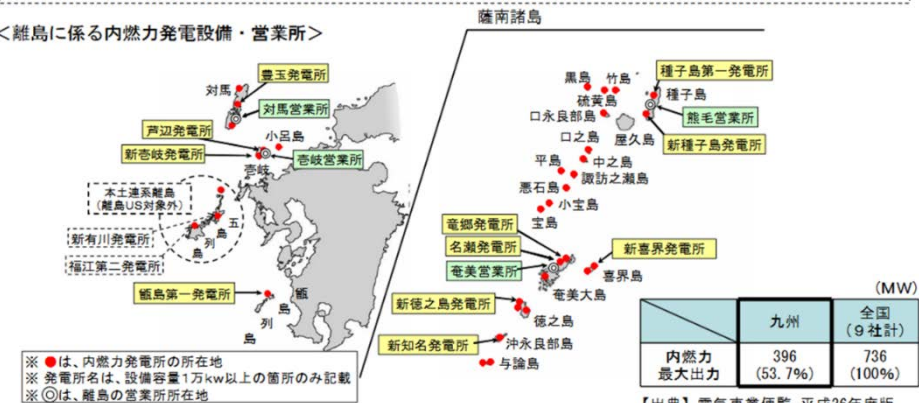
電力会社9社（沖縄電力を除く）の内燃力発電の合計容量の半分以上が、九州に集中する。（図表 172）

図表 172 九州エリアの離島

＜九州エリアの離島U S対象離島（35箇所）＞ ※ 経済産業省令に規定

小呂島、対馬島、海平島、泊島、赤島、島山島、沓岐島、若宮島、原島、長島、大島、上甕島、中甕島、下甕島、竹島、硫黄島、黒島、口之島、中之島、平島、諏訪之瀬島、悪石島、小宝島、宝島、種子島、屋久島、口永良部島、奄美大島、喜界島、加計呂麻島、与路島、隼島、徳之島、沖永良部島、与論島

＜離島に係る内燃力発電設備・営業所＞



【出典】電気事業便覧 平成26年度版

出所:九州電力HP

九州の離島の内燃力発電所とその出力は（図表 173）の通り。

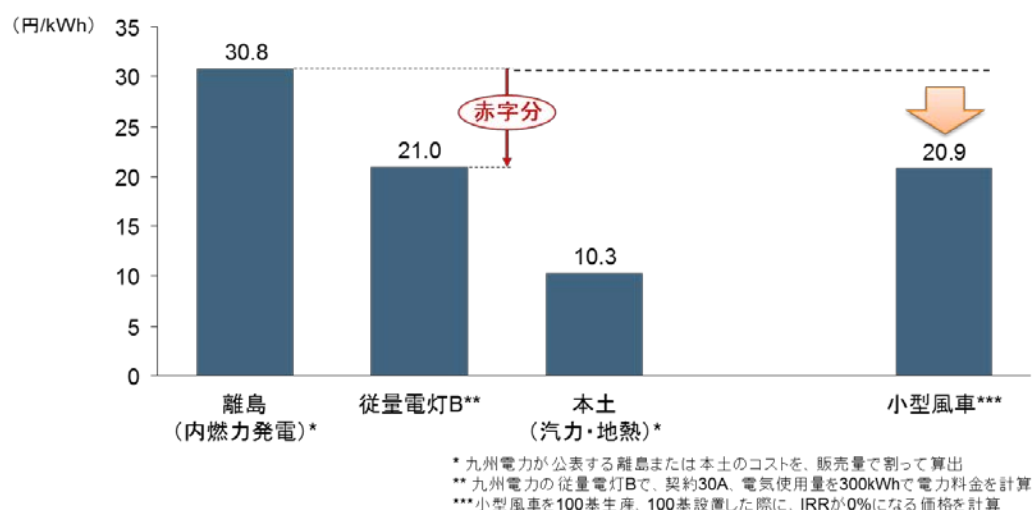
図表 173 九州電力 内燃力発電(出力5kW以上)の概要

発電所名	最大出力(kW)	運転開始年月	所在地
佐須奈	5,100	大正12年12月	長崎県対馬市上県町
豊玉	42,000	昭和53年6月	長崎県対馬市豊玉町
厳原	6,600	昭和5年6月	長崎県対馬市厳原町
芦辺	15,000	大正3年8月	長崎県杵岐市芦辺町
新杵岐	24,000	昭和58年6月	長崎県杵岐市芦辺町
新有川	60,000	昭和57年6月	長崎県南松浦郡新上五島町
福江第二	21,000	昭和46年3月	長崎県五島市奥浦町
甑島第一	14,250	昭和5年11月	鹿児島県薩摩川内市上甑町
種子島第一	16,500	大正2年3月	鹿児島県西之表市西之表
新種子島	24,000	昭和56年6月	鹿児島県熊毛郡南種子町
新喜界	12,600	昭和52年9月	鹿児島県大島郡喜界町
竜郷	60,000	昭和55年6月	鹿児島県大島郡龍郷町
名瀬	21,000	昭和47年9月	鹿児島県奄美市名瀬小浜町
新徳之島	21,000	昭和55年9月	鹿児島県大島郡天城町
亀津	7,500	昭和46年5月	鹿児島県大島郡徳之島町
新知名	19,100	昭和51年6月	鹿児島県大島郡知名町
新与論	5,600	昭和51年6月	鹿児島県大島郡与論町
最大出力 合計 395,540kW（出力5kW未満の発電所、固定ガスタービン、豊前ディーゼルを含む）			

出所: 九州電力HP

九州電力における、離島、本土の発電コストの比較は（図表 174）の通り。内燃力発電よりも安いコストで小型風力が発電できれば、赤字分削減に貢献できる可能性がある。

図表 174 電源別の発電コストの比較

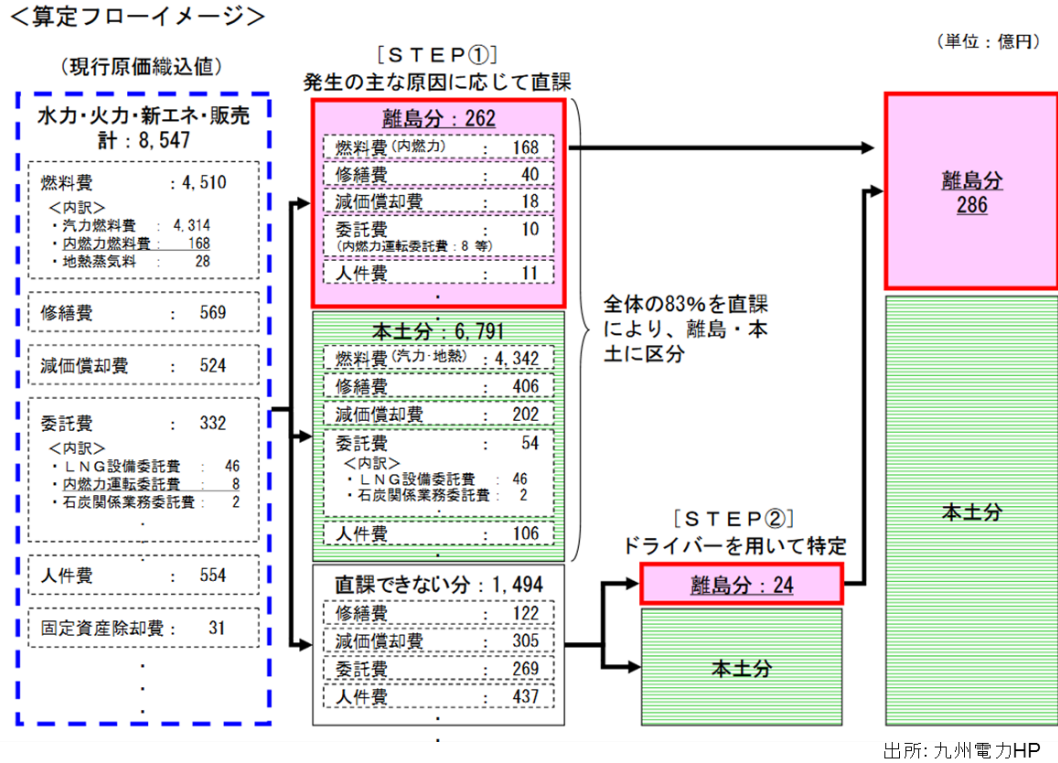


出所: 九州電力HP

(参考)九州電力における離島分と本土分コスト

- 電力販売量は、離島で9.28億kWh、本土で802億kWh

図表 175 算定フローイメージ



2-3 小型風力の群設置上限容量の考え方

検討内容

小型風車を群設置する場合の、上限容量の考え方として、以下の3つを検討した。

図表 176 上限容量の考え方

a. 事業者の視点	小型風車の群設置する場合に、大型風車の設置が難しい場所で、具体的に小型風車が何基設置できる土地があるかヒアリングを実施
b. 電源としての視点	- 小型風力を群設置できれば、一定規模の発電容量を担うことが可能となる。 100基群設置できれば、一基が壊れても全体の影響は少なく、また小型であるために修理が簡単であることから、安定した運用が可能となる。
c. FIT価格の視点	群設置の基数(100、50、10基)ごとのプロジェクトコストから、必要なFIT価格水準を逆算し、FIT価格を下げるために必要な基数を算出

(a) 事業者ヒアリング part.1

JR東日本が所有する小型風車設置に適した土地は以下の通り。各土地に設置できる基数が50基(約1MW)を超える土地が半数を超える。

以下の土地は、JR東日本・JR北海道が所有する土地の一部で設置可能性を検討(図表 177)した結果であり、実際には、これ以外にも設置可能な土地が多く存在する。

図表 177 JR東日本・JR北海道の土地別 小型風車設置可能基数

JR東日本									
路線	五能線								津軽線
設置場所	十二湖1	轟木1	陸奥沢辺2	横磯1	陸奥沢辺5・6	陸奥沢辺6	向能代2	向能代3	北野辺地3
設置可能基数*	10	20	30	30	80	80	100	150	200

JR東日本								JR北海道			
路線	大湊線							室蘭本線	函館本線		
設置場所	陸奥横浜7	有畑9	有畑8	有畑4	有戸8	有畑3	北野辺地3	東室蘭	砂川	鷺ノ巣-山崎	空知
設置可能基数*	20	70	80	80	100	150	200	10	26	100	130

*設置可能基数は豊田通商の新型小型風車(19.9kW)の基数

(b) 事業者ヒアリング part.2

事業者ヒアリングから、大型風車の設置が難しい風況の良い土地の情報が蓄積しており、小型風車を100基程度設置できる土地が既に複数ヶ所あることが分かっている。

風力発電事業者A社によれば、風況は良いが、大型風車の制約から事業化できなかった土地の情報が残っており、小型風車を100基程度設置できる広さの土地が多くあるとのことだった。

- 大型風車には、主に「風況」「土地面積」「道路アクセス」「送電線」「環境」の5点の制約がある。
- 小型風車であれば、「風況」以外の4点は制約にならない、又は大型風車ほど制約が強くない。
- これまでに検討した、大型風車を設置できなかった土地が多くあり、これらの中から小型風車に適した土地を見つけることは、難しくないとのことだった。

これまでに蓄積している土地の情報から年間50ヶ所ほど小型風車の設置検討をし、そのうち2割程度がプロジェクト化すれば、風力発電事業者A社だけで毎年新たに10件の小型風力ファームを開発できる。

- 群設置（100基）ファームが年間10件導入できれば、A社だけで年間1,000基（約2万kW）程度の導入が見込まれる。

(c) 電源としての視点

小型風車を群設置できれば、小型であっても一定規模の発電容量を担うことが可能である。

- 100基設置できれば、豊田通商の新型風車の場合、1.99MWの発電容量となる。（図表 178）

100基設置できていれば、1基が故障したとしても、全体の発電量への影響は少なく済む。また、小型風車は修理に時間・費用がかからないため、安定した運用が可能となる。

- 例えば大型風車の場合、1基が故障した時の発電量の影響は大きく、修理には時間と費用がかかる可能性がある。

図表 178 豊田通商 小型風車の群設置基数と全体容量

豊田通商 群設置基数	1	10	50	100
群設置容量(kW)	19.9	199	995	1,990

2-4 FIT 価格

FIT価格が下げられるのは、群設置基数が多く、量産体制が構築できる場合で31円。群設置基数や量産基数が減ると、FIT価格が上がっていく。

量産基数を増やせば機器コストが安くなり、また群設置基数が増えれば設置コストが下がるため、試算した中で一番FITが安くなるのは、100基生産し100基群設置する場合で、31円である。（IRRは6%で計算）（図表 179）

それぞれ斜め線が入っているのは、設置基数から考えて、量産基数が現実的ではない部分である。例えば、月100基生産するには、10基の群設置では毎月10ヶ所も小型風車の群設置案件が必要となり、現実的と考えられない。

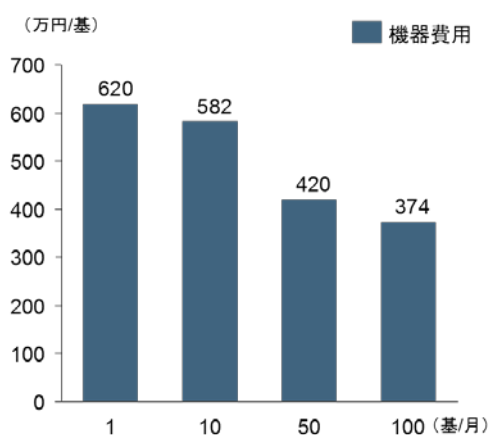
図表 179 群設置基数と量産基数によるFIT価格(IRR6%)の推移

・ 平均風速5m(年間発電量 20,000kWh)

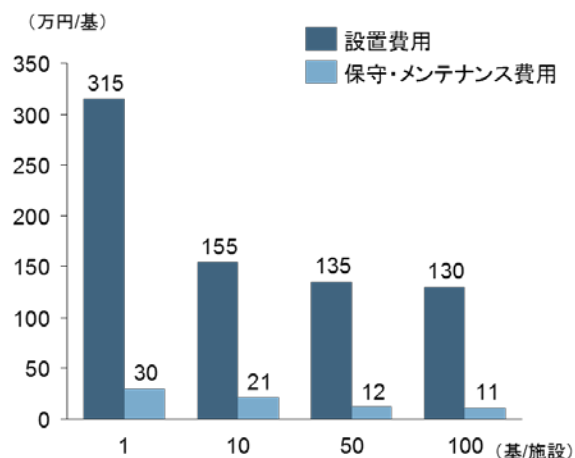
群設置容量(kW)	19.9	199	995	1,990
豊田通商 群設置基数	1	10	50	100
量産基数 100基(月)			32円	31円
量産基数 50基(月)		40.4円	34.5円	33.5円
量産基数 10基(月)	64.2円	48.1円	42.3円	
量産基数 1基(月)	65.9円			

量産の基数、そして群設置をした場合の基数によって一基当たりの機器費用と設置費用、保守・メンテナンス費用が変わってくる。(図表180、図表181)

図表 180 月間生産基数と一基当たりの機器費用推移



図表 181 群設置基数と一基当たりの設置費用、保守・メンテ費用



(a) 買取価格等算定委員会の FIT 計算時使用データ (図表 182)

■ コストデータとして検討されているのは主に資本費と運転維持費

- 資本費： システム費用（設計費、設備費、工事費等）、接続費、土地造成費
- 運転維持費： 人件費、修繕費、土地賃借料、諸費、一般管理費など

図表 182 買取価格等算定委員会がFIT計算に使用するデータ

＜買取価格の水準の算定方式＞		＜買取価格決定の前提＞				
①発電事業者は「資本費」「運転維持費」に関する実績データの提出を義務付け。集計した実績のコストデータを基に、事業の規模等の属性を踏まえてコスト水準の分布を分析し、「効率的に実施される場合に通常要すると認められる費用」の水準を設定。 ②売電実績データ等に基づき設定している「設備稼働率」及び事業者ヒアリングを通じて設定した「適正な利潤」を勘案して、買取価格を決定。			H24年度	H25年度	H26年度	H27年度
資本費 (万円/kW)	システム費用		発電コスト低下 32.5	28	27.5	29.0
	土地造成費		0.15	0.15	0.4	0.4
	接続費		1.35	1.35	1.35	1.35
運転維持費 (万円/kW/年)			1.0	0.9	0.8	0.6
設備稼働率 (%)			12	12	13	14
IRR (%)			6	6	6	6→5
買取価格(税抜き)			40円	36円	32円	29円→27円
			買取価格引き下げ			

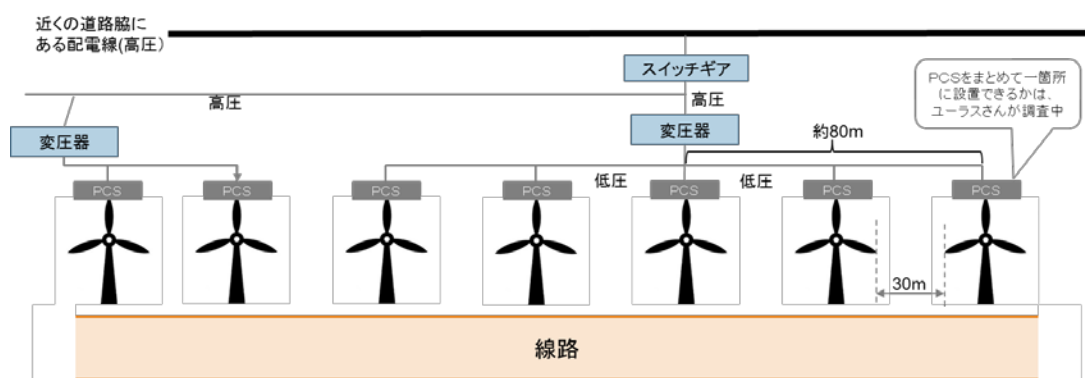
出所:委員会資料より抜粋

線路の横に設置する場合、系統への連携の条件や費用については、更なる調査が必要である。

系統の連系先は、小型風力設置場所の近くにある配電線（通常は道路脇など）となる。鉄道の線路脇にあるのは通信線であり、電線ではないため接続ができない可能性が高い。

系統の連系は高圧となり、変圧器（200V→6,600V）やスイッチギアの設定が必要となる。低圧では、系統までの距離は100メートルが限界であり、低圧での連系は現実的でない（図表 183）。高圧の連系になるのであれば、電力会社との連系協議が必要となるため、型式認証が必要なくなる。

図表 183 系統連系方法



(b) 【月 100 基生産】群設置 50 基、100 基行った場合（図表 184）

月100基の生産体制を築くには、100基の群設置または少なくとも50基の群設置が求められる。FITが一番安くなるケースは、100基生産の100基群設置を行った場合で、IRR6%で31円まで下げられる。

図表 184 群設置基数と総費用推移(月100基生産)

- 平均風速5m(年間発電量 20,000kWh)

群設置容量(kW)		19.9	199	995	1,990
豊田通商 群設置基数		1	10	50	100
資本費 (万円)	機器費用(基)			374	374
	土地造成・ 設置費用(基)			170	160
	接続費* (kW)			1.35	1.35
運転維持費(万円/基)				12	11

*接続費は太陽光発電の公表されている数字を使用

FIT価格 (IRRを6%で計算)			32円	31円
----------------------	--	--	-----	-----

図表 185 群設置基数と総費用推移(月100基生産)

- 平均風速5m(年間発電量 20,000kWh)

群設置容量(kW)		19.9	199	995	1,990
豊田通商 群設置基数		1	10	50	100
資本費 (万円)	機器費用(基)			374	374
	土地造成・ 設置費用(基)			170	160
	接続費* (kW)			1.35	1.35
運転維持費(万円/基)				12	11

*接続費は太陽光発電の公表されている数字を使用

FIT価格 (IRRを6%で計算)			32円	31円
----------------------	--	--	-----	-----

(c) 【月 50 基生産】群設置 100 基、50 基、10 基行った場合（図表 186）

月50基生産の場合は、100基、50基の群設置が求められる。

図表 186 群設置基数と総費用推移（月50基生産）

- 平均風速5m（年間発電量 20,000kWh）

群設置容量(kW)		19.9	199	995	1,990
豊田通商 群設置基数		1	10	50	100
資本費 (万円)	機器費用(基)		420	420	420
	土地造成・ 設置費用(基)		198	170	160
	接続費* (kW)		1.35	1.35	1.35
運転維持費(万円/基)			21	12	11

*接続費は太陽光発電の公表されている数字を使用

FIT価格 (IRRを6%で計算)		40.4円	34.5円	33.5円
----------------------	--	-------	-------	-------

(d) 【月 10 基生産】群設置 50 基、10 基、単基設置を行った場合（図表 187）

月10基生産の場合は、50基、10基の群設置または単基設置が考えられる。

図表 187 群設置基数と総費用推移（月10基生産）

- 平均風速5m(年間発電量 20,000kWh)

群設置容量(kW)		19.9	199	995	1,990
豊田通商 群設置基数		1	10	50	100
資本費 (万円)	機器費用(基)	582	582	582	
	土地造成・ 設置費用(基)	442	198	170	
	接続費* (kW)	1.35	1.35	1.35	
運転維持費(万円/基)		30	21	12	

*接続費は太陽光発電の公表されている数字を使用

FIT価格 (IRRを6%で計算)	64.2円	48.1円	42.3円	
FIT価格 (IRRを1.8%で計算)	49.5円			

(e) 【月1基生産】単基設置を行った場合（図表 188）

月1基生産の場合は、単基設置のみが考えられる。

FITが一番高くなるのが、月1基生産して単基設置を行った場合で、IRR6%で65.9円になる。

図表 188 群設置基数と総費用推移（月1基生産）

- 平均風速5m(年間発電量 20,000kWh)

群設置容量(kW)		19.9	199	995	1,990
豊田通商 群設置基数		1	10	50	100
資本費 (万円)	機器費用(基)	620			
	土地造成・ 設置費用(基)	442			
	接続費* (kW)	1.35			
運転維持費(万円/基)		30			

*接続費は太陽光発電の公表されている数字を使用

FIT価格 (IRRを6%で計算)	65.9円			
FIT価格 (IRRを1.8%で計算)	50.9円			

(f) FIT 価格を更に下げる手段

FITを下げる（IRRを上げる）には、工事費用を下げるか、風況を上げることが考えられる。

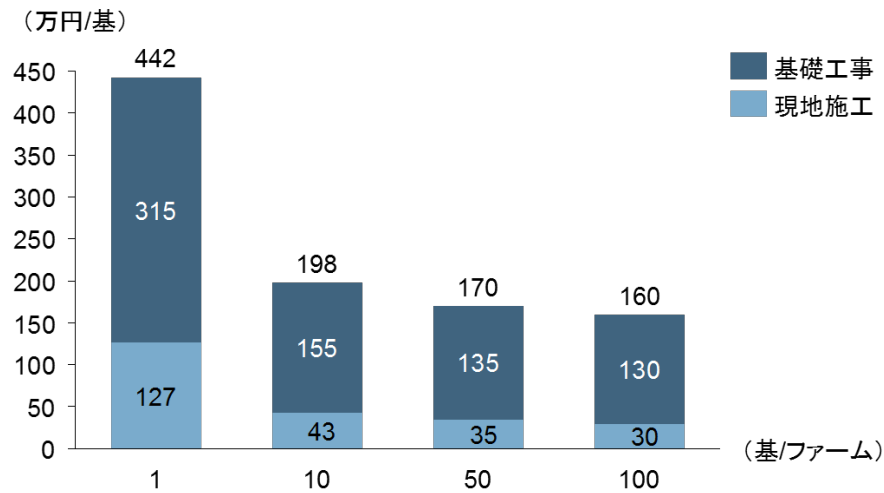
現状の工事費は、プロトタイプ時の工事を想定されているため、実際はもう少し下げられる可能性がある。（図表 189）

また、風速を5mから6mに上げれば、設備利用率が向上し、FITを下げられる。

ただし、小型風車の高さで風速6mにすると、IRRが回復しすぎてしまうため、FITが下がりすぎる可能性が高い。（図表 190）

設備利用率を太陽光と同じ13%程度に設定するという方法も考えられる。

図表 189 群設置台数別の一基毎の工事費用



図表 190 群設置基数と総費用推移(100基生産/月)

・ 平均風速5.6m(年間発電量 28,100kWh)

群設置容量(kW)		19.9	199	995	1,990
豊田通商 群設置基数		1	10	50	100
資本費 (万円)	機器費用(基)			374	374
	土地造成・ 設置費用(基)			170	160
	接続費* (kW)			1.35	1.35
運転維持費(万円/基)				12	11
FIT価格 (IRRを6%で計算)				23.0円	22.3円

*接続費は太陽光発電の公表されている数字を使用

(参考)現在の FIT 価格の前提条件

現在の買取価格でIRRが1.8%になるためには、年間発電量が42,000kWh程度。

図表 191 前提条件

小型風力	定格出力	19.9kW	FIT・電力	買取価格	55円/kWh
	年間発電量	42,000kWh		買取期間	20年
	設備利用率	24.1%		税金	固定資産税率
	法定耐用年数	17年			
	償却率	0.052941			
※定額法(17年間)					
	資本費(機器+工事費)	125万円/kW			
	運転維持費	3.1万円/kW/年			

図表 192 試算結果

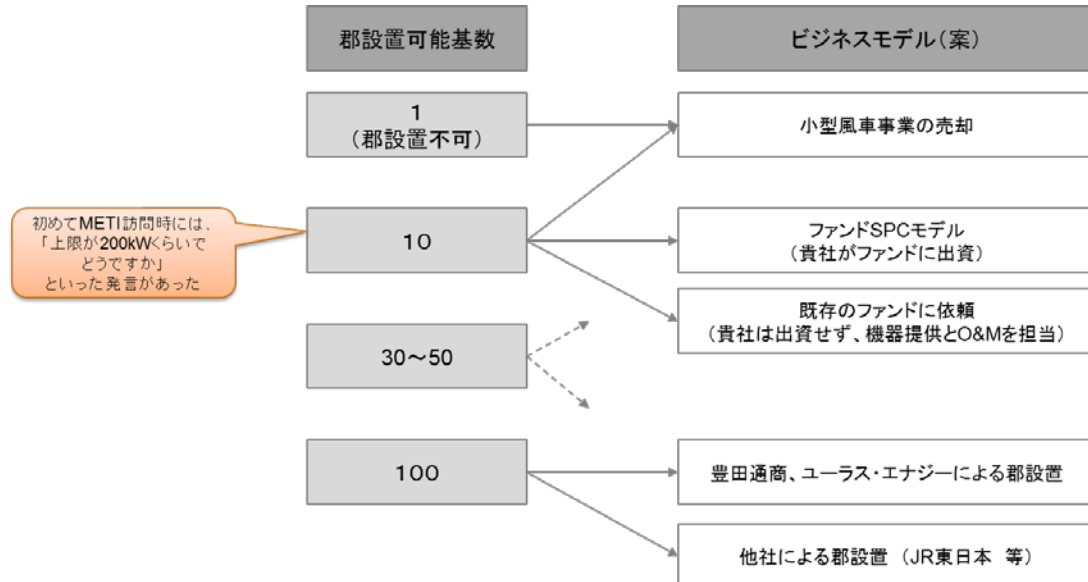
残存簿価(千円)	24,875	23,558	22,241	20,924	19,607	18,290	16,974	15,657	14,340	13,023	11,706	10,389	9,072	7,755	6,438	5,121	3,804	2,488	2,488	2,488	2,488
PL	単位:千円																				
	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17	Y18	Y19	Y20
売電収入		2,310	2,310	2,310	2,310	2,310	2,310	2,310	2,310	2,310	2,310	2,310	2,310	2,310	2,310	2,310	2,310	2,310	2,310	2,310	2,310
減価償却費		1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317	1,317
人件費																					
経理費・一般管理費			617	617	617	617	617	617	617	617	617	617	617	617	617	617	617	617	617	617	617
土地代																					
保険料																					
その他費用		0																			
税金(固定資産税)		348	330	311	293	275	256	238	219	201	182	164	145	127	109	90	72	53	35	35	35
営業利益		-348	46	65	83	102	120	139	157	175	194	212	231	249	268	286	304	323	341	1,058	1,058
P/Lキャッシュフロー																					
	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	Y16	Y17	Y18	Y19	Y20
営業CF		-348	1,363	1,382	1,400	1,419	1,437	1,455	1,474	1,492	1,511	1,529	1,548	1,566	1,585	1,603	1,621	1,640	1,658	1,658	1,658
投資CF		-24,875																			
P/Lキャッシュフロー		-25,223	1,363	1,382	1,400	1,419	1,437	1,455	1,474	1,492	1,511	1,529	1,548	1,566	1,585	1,603	1,621	1,640	1,658	1,658	1,658
P/L-IRR		1.80%																			

3 ビジネスモデル検討

3-1 ビジネスモデル検討(ファイナンス)

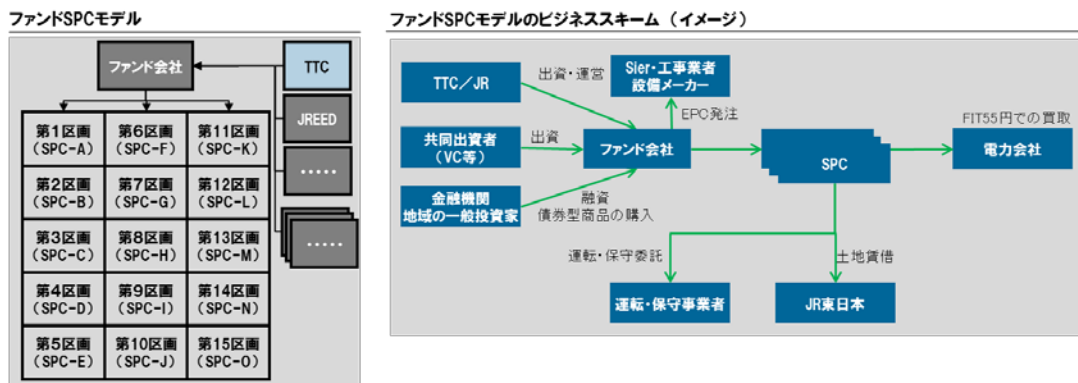
郡設置可能基数別に、ビジネスモデル(図表 193)を検討しておく必要がある。郡設置可能基数が30~50基の場合は、その時点での外部・内部要因を見て検討する必要がある。

図表 193 郡設置可能基数別のビジネスモデル



郡設置できる基数が10基などの小規模な場合は、現在の制度の中でFITを受け取れる可能性のあるスキームとして、以下のファンドSPCモデル(図表 194)が考えられる。ただし、ファンドSPCモデルが成り立つのかは、METIに確認をしておく必要がある。

図表 194 ビジネスモデルの初期仮説（案）

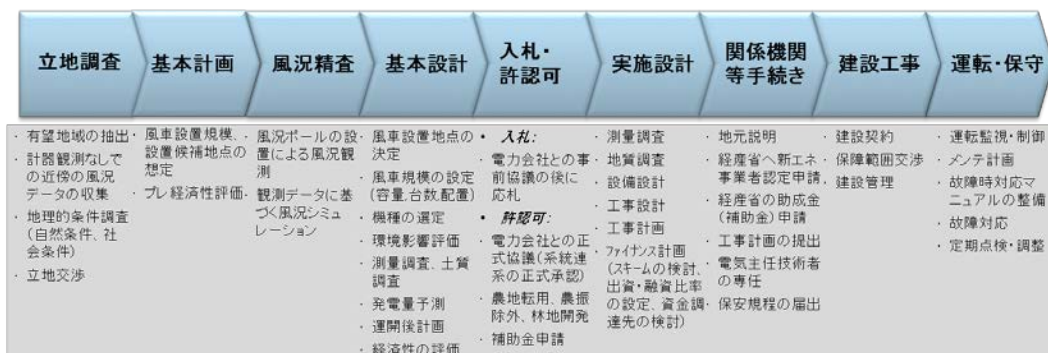


3-2 ビジネスモデル検討(バリューチェーン)

バリューチェーン上の役割分担（図表 195）については、風力発電の導入フロー上で検討する必要がある。役割分担には、以下の様なパターンによって、複数の組み合わせができる可能性がある。

- ・ファンドSPCモデル、豊田通商・ユーラスエナジーが設置するパターン、JR東日本が設置するパターン 等

図表 195 風力発電の導入フロー



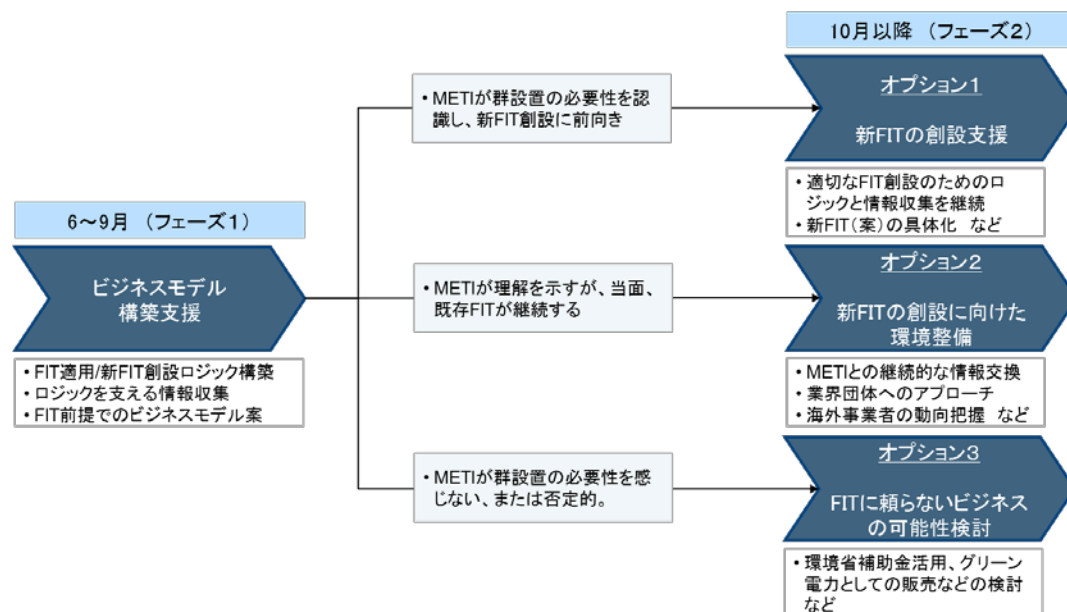
4 今後の検討方針

METIとの複数回にわたる接触を行うなかで、当初は群設置に興味を示し、新FIT創設に向け前向きな反応であった。一方で、群設置を導入した場合のリスクとして、認定件数の更なる増大、一部の粗悪品メーカーやデベロッパーによる大量導入が進み問題がより深刻化する、などの懸念が浮き彫りになってきた。

現在の状況としては、METIは理解を示しているものの、新FIT創設には一定の時間が必要であると推察される。加えて、小型風車の社会問題（施工事故、過大な収益見通しなど）がより深刻化する一方で、導入が進まないとなると、小型風車のFITそのものの存続性も危ぶまれる。

そこで、次のフェーズとしては、オプション2「新FITの創設に向けた環境整備」と、オプション3「FITに頼らないビジネスの可能性検討」を行っていくことが望ましい。（図表 196）

図表 196 プロジェクトの全体像



VII-2. FITに依存しないビジネスモデル構築(フェーズ 2)

フェーズ1では、初期段階の大量生産を確実にするために新FITの創設に向けた活動を中心に行った。しかし、現時点でMETIは、群設置に対して必要性の認識は示しているものの、安価な中国製の大量導入や信頼性の低い中小デベロッパーによる設置・施工不良の増加を懸念しているため、新FITへの導入には少々時間を要する見込みである。

そこで、フェーズ2ではFITに頼らないビジネスモデルについても検討を行った。
具体的には、下記の検討を行い、小型風力発電の事業化を目指す。

1. 環境省や自治体の補助金を活用したビジネスモデルの成立可能性を検討
2. 再エネとリサイクルの視点を兼ね備えた新たな補助金の成立可能性を検討
3. 新FITの創設に向けた環境整備とMETIとのコミュニケーションを継続

1 環境省等の既存の補助金

ここでは、中央官庁および自治体（東北・北海道）の再生エネルギー向け補助金の調査を実施した。

実施方法としては、インターネット上の「補助金情報サイト」で検索を行い、そこから中央官庁・自治体のHPで確認を取る、担当者にヒアリングをするという方法を採用した。

自治体に関しては、風況の観点から、東北・北海道地域で北海道、秋田、青森、岩手、宮城、山形、福島を対象とした。

1-1 中央官庁の補助金(図表 197)

中央官庁の補助金で、現時点で群設置に適用できそうなのは、環境省の「二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業）」であった。

その他に、「廃棄物埋立処分場等への太陽光発電導入促進事業（環境省）」と「中小水力発電開発事業及び地熱発電開発事業（エネ庁）」に関しては、将来的に小型風力にも適用できるかもしれない。

ただし、「廃棄物埋立処分場等への太陽光発電導入促進事業（環境省）」の補助対象は、架台等であり、再エネ設備本体は含まれないので補助額としての期待は小さくなる。

また、「中小水力発電開発事業及び地熱発電開発事業（エネ庁）」は、担当部署が電力基盤整備課であり、主旨として安定電源を対象としている場合には、風力での適用は厳しい。

図表 197 小型風力への適用可能性がある補助事業

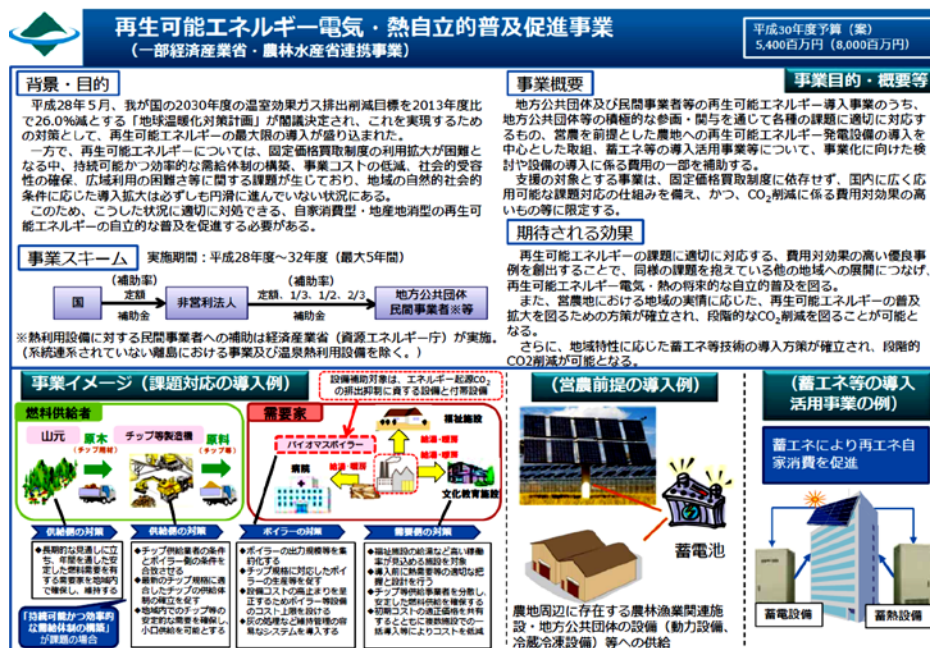
補助金名称	管轄	年度	対象となる再エネ	補助対象	補助内容	現在の適用性	将来の可能性
次世代エネルギーパーク計画	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 再生可能エネルギー推進室	H29	再生可能エネルギー	都道府県 市町村 第三セクター 等	再エネ活用した施設計画作り	×	×
廃棄物埋立処分場等への太陽光発電導入促進事業	環境省大臣官房 廃棄物・リサイクル対策部 廃棄物対策課	H28	太陽光発電	廃棄物埋立処分場	架台の1/2(パネル、PCSは対象外)	×	○
中小水力発電開発事業及び地熱発電開発事業	資源エネルギー庁 電力基盤整備課	H29	中小水力、地熱発電	事業者	地熱 最大20% 小水力(5,000kW以下) 最大20% 中水力(30,000kW以下) 最大10%	×	○
地域バイオマス活用推進事業	農林水産省 食料産業局 バイオマス循環資源課	H29	バイオマス発電	農業協同組合 地方公共団体 民間団体等	最大1/2	×	×
二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金(再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業)	環境省 (エネルギー特会)	H29	再生可能エネルギー	地方公共団体、 非営利法人 営利法人等 個人事業者 オフグリッド型離島の 地方公共団体 地方公共団体 非営利法人等 営利法人	風力発電 2/3~1/3補助 風力発電 2/3補助	○ ○	○ ○

出所) 各種公開資料より NRI 作成

環境省の「二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金(再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業)」(図表 198)

環境省の「二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金(再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業)(以下、自立型再エネ事業補助金)は、平成28年度から実施されている。平成29年度の予算は80億円であったが、平成29年度の予算執行額が予算を下回ったこともあり、平成30年度の予算(案)は54億円に減少している。

図表 198 平成30年度環境省重点施策(自立型再エネ事業補助金)



出所) 環境省

事業内容として、第1号事業から第6号事業までの6つの事業が存在するが、このうち、小型風力の郡設置に適用可能なものは、第1号事業、第4号事業、第6号事業の3事業である。（図表 199）

図表 199 単基と群設置シナリオのFIT価格・導入容量の推移

事業の区分	補助率	申請者	備考
△ 第1号事業 ・ 公的機関・団体による再エネ導入	1／3	・ 自治体出資の地域新電力（自治体新電力）	・ 既存の自治体新電力の数は20程度少なく、かつ、風況を考慮するとさらに限定される。
○ 第4号事業 ・ オフグリッド型離島へ再エネ導入	2／3	・ 島の自治体や民間企業	・ オフグリッド島は国内に80程度存在。
◎ 第6号事業 ・ 民間企業の再エネ導入	1／3 ～ 2／3	・ 民間企業（自治体との連携で補助率2／3）	・ 自社およびJREEDが申請者になることも可能（但し、横展開は困難）。

1-2 各号事業共通

■ 補助金の対象

風力の場合は出力下限あり。単機1kW以上、合計10kW以上となっている。

補助金の性格が「単なる導入のための補助金」ではなく、「何らかの課題・障壁をこの補助を使って解決する」ことであるため、「何らかの課題・障壁」が存在することが前提となる。

ただし、事業としての横展開禁止の明確な規定はなく、審査員の考え方による。基本的に、申請者が異なっていたり、解決すべき課題が異なっていれば対象となると考えられる。例えば、申請者である豊田通商が、トヨタのA工場で初年度実施し、二年度目に別のB工場で実施するというようなケースは採用の必要性が乏しくなる。

■ 補助金額に関すること

1件当たりの採択規模は平均で数千万円となっているが、案件当たりの補助金の上限はないため、小型風力で補助金額3億円（500万円×100機×2/3補助率）であっても問題はない。

年度の予算であるため、採択しても年度内に執行する必要がある。

自立型再エネ事業補助金は、評価の一定水準を満たせば採択となるものなので、非採択はその基準を満たしていないということになる。

本補助金は32年度まで継続が決定している。平成30年度の補助率は平成29年度と同じとなる予定。なお、平成33年度以降も、環境省としてはFITではない再エネの設備補助をなんらかの形で継続したいと思っているとのこと。

注意が必要なのは、補助金を使って事業（売電等）を行う場合には、相当な収益を上げた場合に収益納付をしなければならない。相当な収益とは、運転開始後の3年間で補助金額を超える収益を出した場合を指す。なお、自家消費をする場合には関係ない。例えば、補助金で建てた発電所の電気をPPAで新電力に売った場合などに該当する。

また、普及を加速するための補助金であるため、商品前の実証等でやる場合には、対象外となる。

1-3 第1号事業

申請者として、主に地方公共団体、非営利法人を対象としている。郡設置での事業を考えた場合には、それなりの発電量となるため事業としての成立性が高いのは、地域新電力が申請者となることと考えられる。この場合、地域新電力に自治体が出資していることが条件（出資比率は問わない）となるため、以下、自治体新電力と記述する。

これまでの補助実績では、基本的に自家消費用途での応募であり、自治体新電力が売電用にこの補助金を使うという事例はないが問題はない。ただし、収益納付制度については留意が必要。

補助率は1/3。

1-4 第4号事業

対象となるのは、日本国内のオフグリッドの離島。数として80程度存在する。国内最大のオフグリッド島は佐渡島である。東京の伊豆七島もオフグリッドである。

導入実績から見る導入規模は様々で、小さいと数十kW、大きいと1MWを超える。

事業主体としては、現地の需要家、離島以外の民間事業者、電力会社、自治体など。電力会社としては、沖縄電力が採用されたケースがある。一般的には、公共施設向けの電源とするケースが多い。

電源としては、太陽光発電中心だが、バイオマス発電や太陽熱も存在する。

再エネ発電分を全て自家消費して、足りない分を電力会社から購入するという方法が一般的。もし、電気が余ってしまったら、電力会社と別途契約する。

補助率は2/3。

1-5 第6号事業

6号事業は、民間企業を対象としている。特に企業規模の制限はないので、中小企業でも大企業でも応募可能である。

補助率は1/3であるが、「かさ上げ優遇措置」があり、その条件（地方公共団体の計画に沿うなど）に適合すると、補助率が2/3となる。優遇措置の対象となるために、市

町村との連携が必要となる。なお、自治体が出資等で事業に関与する必要はない。ここで言う、地方公共団体とは、市町村を主に指している。H29年度は、名古屋市のバイオマス発電が唯一、嵩上げ優遇の対象となっている。

2 自治体の補助金(図表 200)

自治体には、小型風力かつ群設置に適用可能な補助金は存在しなかった。小型風力1～数基であれば対応可能な補助金は存在するが、金額上限として10～20万円が設定されている。

また、秋田、青森、岩手には、小型風力を対象とした補助金そのものが存在しなかった。

図表 200 小型風力への適用可能性のある補助事業

補助金名称	管轄	年度	対象となる再エネ	補助対象	補助内容	現在の適用性
環境配慮型設備等導入促進事業費補助金	北海道羽幌町	H27	再生可能エネルギー	個人事業者	小型風力設備の10%、最大20万円	×
浜中町再生可能エネルギー等導入支援対策事業費補助金	北海道厚岸郡浜中町	H29	再生可能エネルギー	個人事業者	小型風力設備の10%、最大10万円	×
仙台市民間防災拠点施設再生可能エネルギー等導入補助金	仙台市	H29	再生可能エネルギー	民間の防災拠点	設備の新設/増設/更新の50%、最大1000万円	△
山形県再生可能エネルギー事業者支援事業費補助金	山形県	H29	再生可能エネルギー (小型風力は対象外)	個人事業者	太陽光設備の2.5万円/kW、最大10万円	×
再生可能エネルギー設備普及促進事業費補助金(平成29年度)	山形県鶴岡市	H29	再生可能エネルギー	個人事業者	小型風力設備の10%、最大10万円	×
再生可能エネルギー設備等導入設置費補助金(～平成31年度)	山形県最上郡舟形町	H29	再生可能エネルギー	個人事業者	小型風力設備の10%、最大20万円	×
再生可能エネルギー等施設整備に係る借入資金の利子補給	福島市役所	H29	再生可能エネルギー	個人事業者	支払った利子の半分の補給	×
再生可能エネルギー設備等設置費補助事業	福島県耶麻郡西会津町	H29	再生可能エネルギー	個人事業者	小型風力設備の10%、最大10万円	×

出所) 各種公開資料より NRI 作成

3 新たな補助金の設立可能性

再エネの観点だけで新たな補助金の成立を中央官庁に相談するのは難しいと想定されたため、リユース・リサイクルの観点も考慮した補助金の可能性について環境省に相談した。実際、リサイクルと再エネを組み合わせた補助金は現時点で存在しない。

本事業で検討している小型風車は、ハイブリッド自動車の蓄電池とモーターを中心としたハイブリッド・システム全体のリユースをすることで、適切にリサイクルにつなげることができる。この結果、リユースにより使用済み蓄電池やモーターに価値がつくので、積極的に回収ができるようになる。また、現在は中古のハイブリッド車の多くが海外に売られていて回収困難な状況にあるが、本事業の小型風力を推進することで海外において回収困難な車両を削減できるのではないかという考え方である。

以上の考え方で、環境省に相談を行ったが、新たな補助金の設立は非常に困難という結論であった。

理由としては、「現状、車両の蓄電池には価値があるため、リサイクルに費用を出すという考えがない」また「検証が必要であるが、中古のハイブリッド自動車が海外に輸出され、小型風車にならなくとも、LCAの観点から有効利用されている可能性がある」ということであった。

4 ビジネスモデルの検討

ここでは、前段までの検討で抽出された環境省の「二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業）」の活用を想定したビジネスモデルについて検討を行う。（図表 201）

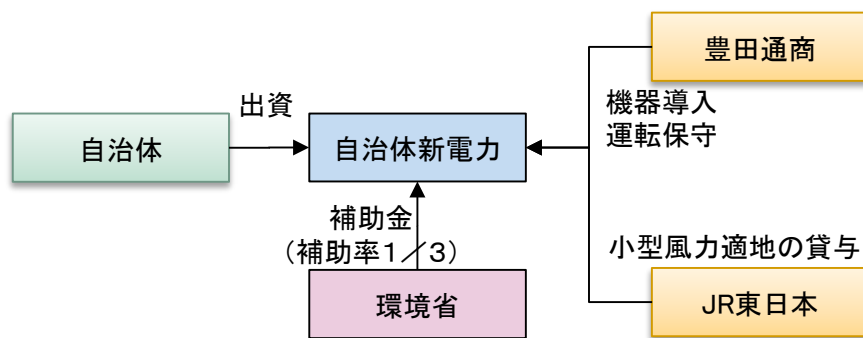
図表 201 郡設置の導入支援策の検討結果

検討オプション	検討結果	結果概要
新FITの創設 ・ 小型風力の群設置に対応した、新FITの創設の可能性を検討。	△	・ 新FITの導入は時間を要する。 ・ 安価な中国製の大量導入や信頼性の低い中小デベによる設置・施工不良の増加を懸念。 ・ 価格等算定委員会では、小型風車FITの撤廃について言及。
新補助金の創設 ・ 環境省を対象に、リサイクル等の観点も入れた、再エネ向けの補助金創設の可能性を検討。	×	・ ハードルは相当に高い。 ・ 現状、車両の蓄電池には価値があるため、リサイクルに補助金を出すという考えがない。 ・ 海外では、業界や企業に対して減税を適用するという方法もあるが、実現は同様に困難。
既存補助金の適用 ・ 経産省、環境省、自治体の既存の補助金で小型風力の群設置に適用可能なものを探索。	○	・ 適用可能な補助金が存在。 ・ エネ特を財源とする「二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業）」が最も有望。

4-1 第 1 号事業を想定したビジネスモデル

第1号事業を想定した最もシンプルなビジネスモデルは、自治体新電力が環境省補助金の申請者となり、豊田通商が自治体新電力に小型風力の機器導入および運転保守を実施するスキームである。（図表 202）

図表 202 第1号事業を想定したビジネスモデル



現在存在する自治体新電力は20社程度（図表 203）であり、かつ、風力適地に所在する自治体新電力は非常に限定的である。そこで、豊田通商自らが自治体新電力を組成、出資するという考え方もあるが、成立時間の観点および横展開の観点から優先順位は低いと考える。

図表 203 自治体新電力一覧

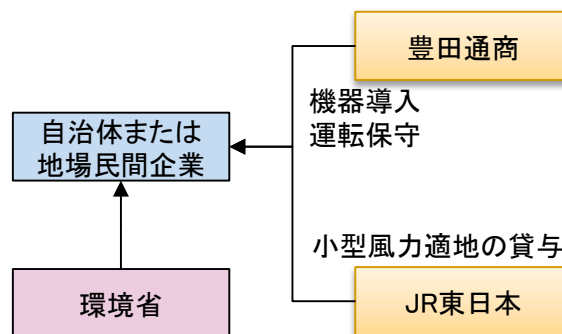
自治体	自治体新電力会社名	主な民間出資者	資本金(百万円) 【自治体出資割合】
山形県	(株)やまがた新電力	(株)NTTファシリティーズ	70【33.4%】
宮城県東松島市	東松島みらいとし機構	東松島商工会議所	
群馬県中之条町	(株)中之条パワー		3【60%】
群馬県太田市	(株)おおた電力	太田都市ガス	【60%】
千葉県睦沢市	(株)CHIBAむつざわエナジー	パシフィックパワー(株)	9【56%】
千葉県成田市、香取市	(株)成田香取エネルギー	(株)洗揚電機	9.5【80%】
東京23区、清掃一部事務組合	東京エコサービス(株)	東京ガス(株)	200【59.8%】
静岡県浜松市	(株)浜松新電力	(株)NTTファシリティーズ	60【8.33%】
滋賀県湖南市	こなんウルトラパワー(株)	パシフィックパワー(株)	9【36.67%】
大阪府泉佐野市	(一財)泉佐野電力	パワーシェアリング(株)	3【66.7%】
奈良県生駒市	いこま市民パワー(株)	大阪ガス	15【51%】
岡山県真庭市	真庭バイオエナジー(株)	真庭市森林組合	
鳥取県鳥取市	(株)とっとり市民電力	鳥取ガス(株)	20【10%】
鳥取県米子市	ローカルエナジー(株)	(株)中海テレビ放送	90【10%】
鳥取県南部町	南部だんだんエナジー(株)	パシフィックパワー(株)	9.7【41%】
島根県奥出雲町	奥出雲電力(株)	パシフィックパワー(株)	23【87%】
福岡県北九州市	(株)北九州パワー	(株)安川電機	60【24.17%】
福岡県みやま市	みやまスマートエネルギー(株)	九州スマートコミュニティ(株)	20【55%】
大分県由布市	新電力おおいた	(株)デンケン	20
熊本県小国町	ネイチャーエナジー小国(株)	パシフィックパワー(株)	10【38%】
鹿児島県日置市	ひおき地域エネルギー(株)	(有)池田製茶	2.4【4.2%】
鹿児島県いちき串木野市	(株)いちき串木野電力	(株)パスポート	10【51%】

出所) 各種公開資料より NRI 作成

4-2 第4号事業を想定したビジネスモデル

第4号事業を想定した最もシンプルなビジネスモデルは、オフグリッド島の民間企業や自治体等が環境省補助金の申請者となり、自家消費向けに小型風力を導入、その際に豊田通商が小型風力の機器導入および運転保守を実施するスキームである。

図表 204 第4号事業を想定したビジネスモデル



日本国内にオフグリッド島は80程度（図表 205）存在し、小型風車を郡設置可能な土地も数多く存在すると想定される。

ただし、すでに太陽光発電が相当量導入されていたり、土地があるものの所有権が分散しているという可能性もあるため、来年度以降に精査していく必要がある。

図表 205 日本国内オフグリッド離島

日本国内の約80のオフグリッド離島。なお、中部電力、関西電力、四国電力管内にはオフグリッドの離島は存在しない（有線接続している）。

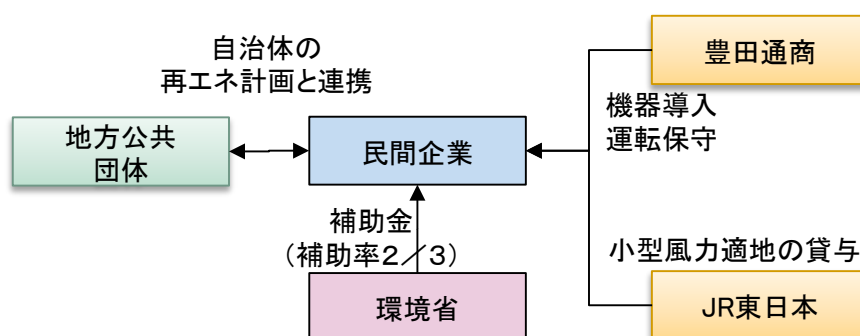
- | | |
|---|--|
| <p>■北海道電力</p> <ul style="list-style-type: none"> ●礼文島、利尻島、天売島、焼尻島、奥尻島 <p>■東北電力</p> <ul style="list-style-type: none"> ●山形県 <ul style="list-style-type: none"> ・飛島 ●新潟県 <ul style="list-style-type: none"> ・佐渡島 <p>■北陸電力</p> <ul style="list-style-type: none"> ●石川県 <ul style="list-style-type: none"> ・舩倉島 <p>■東京電力</p> <ul style="list-style-type: none"> ●東京都 <ul style="list-style-type: none"> ・大島、利島、新島、式根島、神津島、三宅島、御蔵島、八丈島、青ヶ島、父島、母島 <p>■中国電力</p> <ul style="list-style-type: none"> ●島根県 <ul style="list-style-type: none"> ・島後、中ノ島、西ノ島、知夫里島 ●山口県 <ul style="list-style-type: none"> ・見島 | <p>■九州電力</p> <ul style="list-style-type: none"> ●福岡県 <ul style="list-style-type: none"> ・小呂島 ●長崎県 <ul style="list-style-type: none"> ・対馬島、海栗島、泊島、赤島、沖ノ島、島山島、舌岐島、若宮島、原島、長島、大島 ●鹿児島県 <ul style="list-style-type: none"> ・上甕島、中甕島、下甕島、竹島、硫黄島、黒島、口之島、中之島、平島、諏訪之瀬島、悪石島、小宝島、宝島、種子島、屋久島、口永良部島、奄美大島、喜界島、加計呂麻島、与路島、請島、徳之島、沖永良部島、与論島 <p>■沖縄電力</p> <ul style="list-style-type: none"> ●粟国島、渡名喜島、久米島、奥武島、オーハ島、北大東島、南大東島、宮古島、池間島、大神島、来間島、伊良部島、下地島、多良間島、水納島、石垣島、竹富島、西表島、鳩間島、由布島、小浜島、黒島、新城島（上地）、新城島（下地）、波照間島、与那国島 |
|---|--|

4-3 第 6 号事業を想定したビジネスモデル

第6号事業を想定した最もシンプルなビジネスモデルは、民間企業が環境省補助金の申請者となり、自家消費向けに小型風力を導入、その際に豊田通商が小型風力の機器導入および運転保守を実施するスキームである。（図表 206）

なお、「かさ上げ優遇措置」で補助率2/3を獲得するために、自治体の再エネ計画との連携が必要であるため、特に市町村の巻き込みが必要である。

図表 206 第6号事業を想定したビジネスモデル



民間企業は、従来よりも安価かつグリーンな電力を自家消費できるため、十分なメリットが得られると考えられる。

短期的には、小型風力設置の適地となっている秋田県と連携して、秋田県の民間企業が導入する案が考えられる。同様に、短期的には豊田通商やJR東日本自らが申請者となることも考えられる。

5 ビジネス展開のアクションプラン(図表 207)

環境省の「二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金（再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業）」を活用したビジネス展開のアクションプランについて検討を行う。

図表 207 ビジネスの展開スケジュール

	H30年度		H31年度
	4月	12月	4月
	補助金公募 ▼	補助金公募 ▼	補助金公募 ▼
第1号事業	顧客探索とフィージビリティ・スタディ		補助金申請
第4号事業	顧客探索とフィージビリティ・スタディ		補助金申請
第6号事業	商品化(第1段階) ▼	補助金申請 JR東日本の土地活用で 豊田通商が申請	上記ビジネス・モデルの第一号 補助金申請
	補助金申請 秋田県庁の土地活用で 豊田通商または民間企業が申請	顧客探索	

第6号事業を活用した補助金申請を早ければ平成30年度早々に実施する。この第一号案件については、秋田県庁の土地を活用し、豊田通商または民間企業が申請者となることを想定する。秋田県と連携できるため、「かさ上げ優遇措置」で補助率2/3を獲得することを目指す。「かさ上げ優遇措置」の確度をあげるために、事前に昨年度唯一「かさ上げ優遇措置」を獲得している名古屋市のバイオマス発電について事例研究を行う。

第6号事業を活用した第二号案件として、JR東日本の土地を活用し、豊田通商またはJR東日本が申請者となることを想定する。この際、JR東日本内部での理解を得るための活動は平成30年度早々に開始する必要がある。第二号案件の申請者が豊田通商となる場合には、第一号案件と申請者が同じになるため、補助金申請にあたって「何らかの違い」を示す必要がある。1つの案としては、第二号案件はJR東日本の遊休地を使っていることである。鉄道隣接という特徴のある遊休地を活用し、100基程度の郡設置が可能であるため、第一号案件の郡設置条件とは異なることを示せると考えられる。

第1号事業および第4号事業については、平成30年度いっぱいをかけて顧客探索を行い、平成31年度に補助金申請を行うことを考える。

第1号事業では、北海道・東北地域の自治体新電力を優先的に訪問ヒアリングを行い、第4号事業では、離島の規模が大きく、かつ、再生エネルギーの導入量が相対的に少ない離島のリストを作成し、その自治体に訪問ヒアリングを実施する。

VII-3. HV ユニットリユース横展開可能性調査

本章では将来的な出口戦略の一環として、リユース（リマニュファクチャリング）モデルの横展開応用の可能性について調査検討を行い、小型風力発電システム事業の次の具体的な取り組み例まで言及することを目的として実施する。

検討にあたって、まずは、リユース対象となるHVユニットの横展開応用に必要な仕様の整理を行った。

1 HV ユニットの横展開応用に必要な仕様について

トヨタ車（プリウス等）のHVユニット（モータ、電池、インバータ等）の部品情報について、2. で実施するリユース想定製品に求められる部品の仕様等と比較検討できるように情報整理を行った。

1-1 対象車種

対象車種はHV車の販売時期、販売台数を想定し、直近で一定数の廃棄が想定される、以下の車種のHVユニットを選定した。また、対象車種全てが、HVシステム全体として、HV-ECU (hybrid electronic control unit) にて制御されている。図表 208に対象車種の販売期間と販売台数を示す。

図表 208 対象車種

	販売期間	販売台数 ^{※2}
第2世代 プリウス	2003 年～	約 40 万台
第3世代 プリウス	2009 年～	約 100 万台
第1世代 アクア ^{※1}	2011 年～	約 120 万台

※1 第2世代プリウスとHVユニットは基本的に同様

※2 公表情報からの推定販売台数

出所) トヨタ自動車株式会社公表情報に基づき株式会社三菱総合研究所作成

1-2 整理項目

横展開応用に必要な仕様として、以下の整理項目を選定した。

- モータ・発電機の主な仕様
- パワーコントロールユニット（PCU）の主な仕様
- 電池の主な仕様

2 HV ユニットの横展開応用に必要な仕様の整理結果

公開情報等に基づきHVユニットの横展開応用に必要な仕様を整理した結果を以下に示す。

整理の結果を踏まえ、HVユニットのリユースについては、まずは、モータ・発電機のリユース可能性を検討することとした。また、リユースする場合の特徴としては、1) 制御

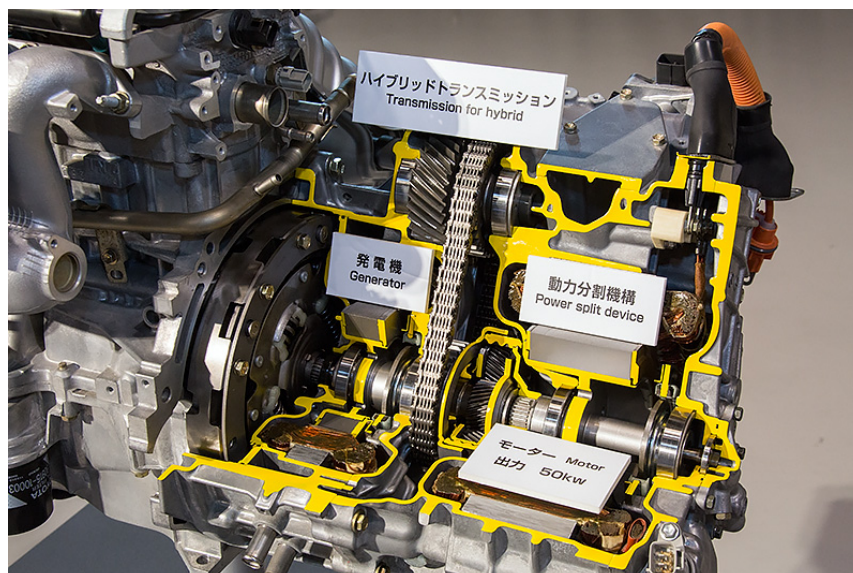
応答に優れ、出力効率がトップレベルであること、2) サイズがコンパクトであること、3) 低コストであること等を挙げることができる。

以上を踏まえ、2. にてHVユニットのリユース想定製品分野への応用検討を行うこととする。

2-1 モーター・発電機の主な仕様(図表 209)

- MG2（駆動モーター用途）、MG1（発電機用途）の2つのモーターにて構成。
- 第2世代プリウスのモータースペックは、最高出力が50kW、最高回転数は6,000rpm。
- 第3世代プリウスのモータースペックは、最高出力が60kW、最高回転数は13,500rpm。
- モーター・発電機については、第2世代から第3世代にかけて、1) モーターの小型、軽量化、高回転化、2) モーターの損失低減、3) 発電機の小型、軽量化が実現。
- モーター・発電機をリユースする場合は、各モーター単体での利用も想定し、モーター出力は連続用途で10～20kWクラスの製品へのリユースを想定して検討する。

図表 209 モーター・発電機



出所) Car Watch プリウス技術説明会報告ウェブサイト

2-2 パワーコントロールユニット(PCU)の主な仕様(図表 210、図表 211)

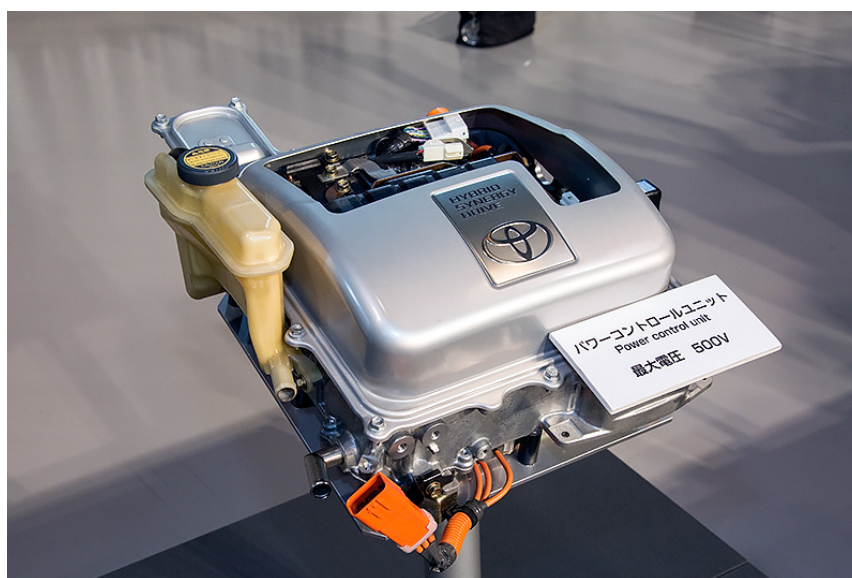
- パワーコントロールユニットのスペックは下表のとおり。
- パワーコントロールユニットについては、第2世代から第3世代にかけて、1) 小型化により高出力密度化（エンジンルーム搭載容易、車両展開性向上）、2) 効率向上、3) 生産性向上が実現。

図表 210にパワーコントロールユニットのスペックを示す。

図表 210 パワーコントロールユニットのスペック

		第 2 世代プリウス	第 3 世代プリウス
トータル最高出力	kVA	162	178
最大昇圧電圧	V	500	650
モータ最大電流	Arms	230	170
質量	kg	21.0	13.5
体積	L	17.7	11.2
素子実装冷却方式		ヒートシンク冷却方式	直接冷却方式

図表 211 パワーコントロールユニット

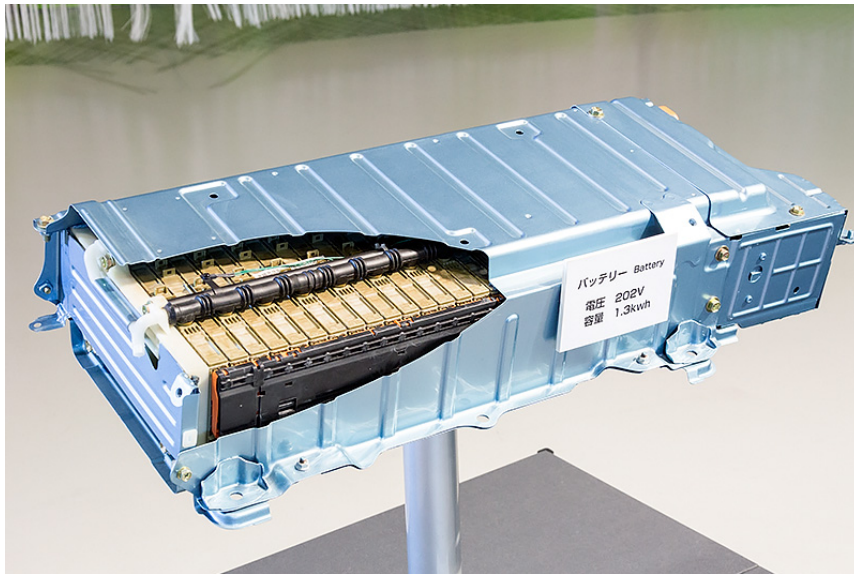


出所) Car Watch プリウス技術説明会報告ウェブサイト

2-3 電池の主な仕様(図表 212)

- 全てニッケル水素電池。容量は 1.5kWh。
- 第 2 世代、第 3 世代プリウスの電池パックは、角型のものが使用されている。アクアも同様のものが使用されている。
- 6 セル一体のモジュールであり、1,352W/6 セルである。
- HV ユニットへの搭載は、28 モジュール、168 セルである。

図表 212 電池



出所) Car Watch プリウス技術説明会報告ウェブサイト

3 HV ユニットのリユース想定製品分野に係る調査

1. を踏まえ、HVユニットのリユースが想定される製品分野について、公表資料等の調査を通じて、HVユニットの横展開応用の可能性を検討するための情報を収集・整理した。調査対象とする想定製品分野は、モータまたは発電機を利用する全ての製品とした。対象製品を漏れなく抽出する観点から、経済産業省生産動態統計年報機械統計編を参照し、調査対象とする製品を選定した。また、調査項目は、想定製品分野の1) まとめ（生産台数、製品分野の概要、主要な製品、HVユニットの横展開応用の可能性を検討するために必要な情報（出力、人的リスク、設計変更の可能性））、2) メーカー別動向（主要なメーカーの概況）とした。

4 HV ユニットのリユース想定製品分野整理結果

2の調査結果を踏まえ、HVユニットのリユース想定製品分野における製品ごとに、検討の優先度と検討対象外とした場合の理由を整理した結果図表 213に示す。検討の優先度は、高、中、低の3段階で評価した。また、リユース想定製品分野の検討の対象外とした理由としては、以下を挙げた。

＜検討の対象外とした理由＞

- 電動機なし
- 設計の大幅変更が必要
- 電動機出力または発電機出力：大または小
- サイズが小型であり代替が困難
- 安価なモータが使用されており代替困難
- 半製品利用先との調整が必要
- 人的リスク
- 衛生面
- トラック専用のHVユニットを利用
- 技術開発中・海中使用

整理の結果、HVユニットのリユース想定製品として検討の優先度が高いものとして、射出成形機、圧縮機、冷凍機、冷凍機応用製品、無人搬送車、フォークリフトトラック、水力発電、バイナリー発電、木質バイオマス発電が抽出された。また、次の優先度の高いもの（優先度：中）としては、うず巻ポンプ、軸・斜流ポンプ、産業用ロボット、数値制御旋盤、円筒研削盤、平面研削盤、マシニングセンタ、数値制御フライス盤、機械プレスが抽出された。

図表 213 HVユニットのリユース想定製品分野の整理結果

製品分野	製品	優先度	対象外の理由
1 土木建設機械、鉱山機械及び破碎機	(1) トラッククレーン・ラフテレンクレーン	—	電動機使用なし
	(2) クローラクレーン	—	電動機使用なし
	(3) 掘削機械	—	設計の大幅変更が必要
	(4) 整地機械	—	電動機使用なし
	(5) アスファルト舗装機械	低	—
	(6) コンクリート機械	低	—
	(7) 基礎工事用機械	—	電動機出力：大
	(8) 破碎機・粉碎機	低	—
2 化学機械及び貯蔵槽	(1) 集塵機	—	サイズが小型であり代替が困難
	(2) 混合機、かくはん機及び粉碎機	—	サイズが小型であり代替が困難
	(3) 射出成形機	高	—
	(4) 押出成形機	低	—
3 製紙機械、プラスチック加工機械、印刷・製版・製本及び紙工機械	(1) 印刷機械	—	設計の大幅変更が必要
	(2) 製本機械	—	設計の大幅変更が必要
4 ポンプ、圧縮機及び送風機	(1) うず巻ポンプ	中	—
	(2) 軸・斜流ポンプ	中	—
	(3) 回転ポンプ	—	サイズが小型であり代替が困難
	(4) 水中ポンプ	—	サイズが小型であり代替が困難
	(5) 圧縮機	高	—
	(6) 送風機	—	安価なモータが使用されており代替困難
5 油圧機器及び空気圧機器	(1) 油圧ポンプ	—	半製品利用先との調整が必要
6 運搬機械及び産業用ロボッ	(1) 固定式クレーン	—	人的リスク
	(2) 移動式クレーン	—	人的リスク
	(3) 巻上機	—	人的リスク

製品分野	製品	優先度	対象外の理由
	(4) コンベヤ	－	電動機使用なし
	(5) エレベータ	－	人的リスク
	(6) エスカレータ	－	人的リスク
	(7) 機械式駐車装置	－	電動機出力：小
	(8) 自動立体倉庫装置	低	－
	(9) 産業用ロボット	中	－
7 農業用機械器具及び木材加工機械	(1) 動力耕うん機	－	電動機使用なし
	(2) 装輪式トラクタ	低	－
	(3) 田植機	－	電動機使用なし
	(4) 管理用機器	－	電動機出力：小
	(5) コンバイン	低	－
	(6) 粃すり機	－	電動機出力：小
	(7) 農業用乾燥機	－	電動機出力：小
	(8) 木材加工機械及び製材機械	－	電動機出力：小
8 金属工作機械	(1) 数値制御旋盤	中	－
	(2) 円筒研削盤	中	－
	(3) 平面研削盤	中	－
	(4) マシニングセンタ	中	－
	(5) 数値制御フライス盤	中	－
	(6) 数値制御放電加工機	－	電動機出力：小
9 金属加工機械及び 鋳造装置	(1) 圧延機械	－	電動機使用なし(油圧式)
	(2) 液圧プレス	－	電動機使用なし(油圧式)
	(3) 機械プレス	中	－
	(4) せん断機	－	電動機出力：小
	(5) 鋳造装置	－	電動機出力：小
10 食料品加工機械、 包装機械及び荷造機 械	(1) 穀物処理機械	低	－
	(2) 牛乳加工・乳製品製造用機械	－	衛生面
	(3) 肉類・水産加工機械	－	衛生面
	(4) 個装・内装機械	－	電動機出力：小
	(5) 外装 及び荷造機械	－	電動機出力：小
11 冷凍機及び冷凍機 応用製品	(1) 冷凍機	高	－
	(2) 冷凍機応用製品	高	－
12 機械工具	－	－	半製品利用先との調整が必要

製品分野	製品	優先度	対象外の理由
13 回転電気機械	(1) 回転電気機械	—	発電システムにおいて検討
	(2) 電動機	—	半製品利用先との調整が必要
	(3) 電動工具	—	電動機出力：小
14 産業車両	(1) 蓄電池式運搬車	—	電動機使用なし
	(2) 無人搬送車	高	—
	(3) フォークリフトトラック	高	—
	(4) ショベルトラック	—	電動機使用なし
	(5) 塵芥収集車	—	トラック専用の HV ユニットを利用
15 発電システム	(1) 太陽光発電	—	発電機使用なし
	(2) 太陽熱発電	—	発電機出力：大
	(3) 風力発電	—	実証中
	(4) 水力発電	高	—
	(5) 海洋温度差発電	—	発電機出力：大
	(6) 波力発電	—	技術開発中・海中使用
	(7) 潮流発電	—	技術開発中・海中使用
	(8) 潮汐力発電	—	発電機出力：大
	(9) 地熱発電	—	発電機出力：大
	(10) バイナリー発電	高	—
	(11) 木質バイオマス発電	高	—
	(12) メタン発酵発電	—	発電機出力：大
	(13) 廃棄物発電	—	発電機出力：大

5 HV ユニットのリユースが有望な分野の抽出

ではリユース想定製品分野の整理の結果、検討の優先度を高、中と評価した以下に示す分野について、主に中小規模の事業者を抽出し、HVユニットのリユース可能性等についてヒアリング調査を行うことで、有望分野の更なる絞り込みを行った。

6 HV ユニットのリユースが有望な分野の検討

6-1 検討方法

HVユニットのリユース可能性等についてヒアリング調査を行った対象製品を以下に示す。また、ヒアリングの際の調査項目についても同様に以下に示す。ヒアリングは先方に調査の趣旨・調査項目をメールやFAXにて送付した後、電話にて意見聴取した。

＜HVユニットのリユース可能性等についてヒアリング調査を行った対象製品＞

- 優先度：高
 - 射出成形機
 - 圧縮機
 - 冷凍機
 - 冷凍機応用製品
 - 無人搬送車（簡易な電気自動車（簡易EV）も含む）
 - フォークリフトトラック
 - 水力発電
 - バイナリー発電
 - 木質バイオマス発電

- 優先度：中
 - うず巻ポンプ
 - 軸・斜流ポンプ
 - 産業用ロボット
 - 数値制御旋盤
 - 円筒研削盤
 - 平面研削盤
 - マシニングセンタ
 - 数値制御フライス盤
 - 機械プレス

＜ヒアリング調査項目＞

- 当該製品に使用されるモータまたは発電機の要件
 - 要求特性
 - 性能 等
- 当該製品へのハイブリッドユニットの活用可能性
 - 一般的見解
 - 活用のための条件 等

6-2 検討結果

最終的にHVユニットのリユースが有望な分野としては以下の分野（製品）が抽出された。

＜HVユニットのリユースが有望な分野（製品）＞

- 簡易電気自動車（簡易EV）
- 水力発電
- バイナリー発電木質バイオマス発電

6-3 今後の検討課題

HVユニットのリユースが有望な分野について、今後具体的な応用を考えた場合に解決すべき課題を図表214に整理した。

図表 214 今後の課題検討

分野（製品）	● 検討課題
簡易電気自動車 （簡易EV）	● 簡易電気自動車におけるモータ仕様とのマッチング ● コスト・性能が簡易電気自動車におけるモータの要求性能を満たすこと ● 簡易電気自動車の開発計画とモータの調達価格・調達量が整合すること
水力発電	● HVユニットの防水性 ● 野外使用の可否 ● 水車の回転速度と発電機仕様のマッチング ● 発電機の耐久性の確認
バイナリー発電	● 回転数とトルクに基づき年間発電量を見積もる ● 発電機の出力（大きい懸念あり）
木質バイオマス発電	● 木質バイオマス発電における発電機仕様とのマッチング ● コスト・性能が木質バイオマス発電システムの要求仕様を満たすこと（コストが安価であり、性能が従来品よりも高いことの確認）

VIII. 環境改善効果の評価結果

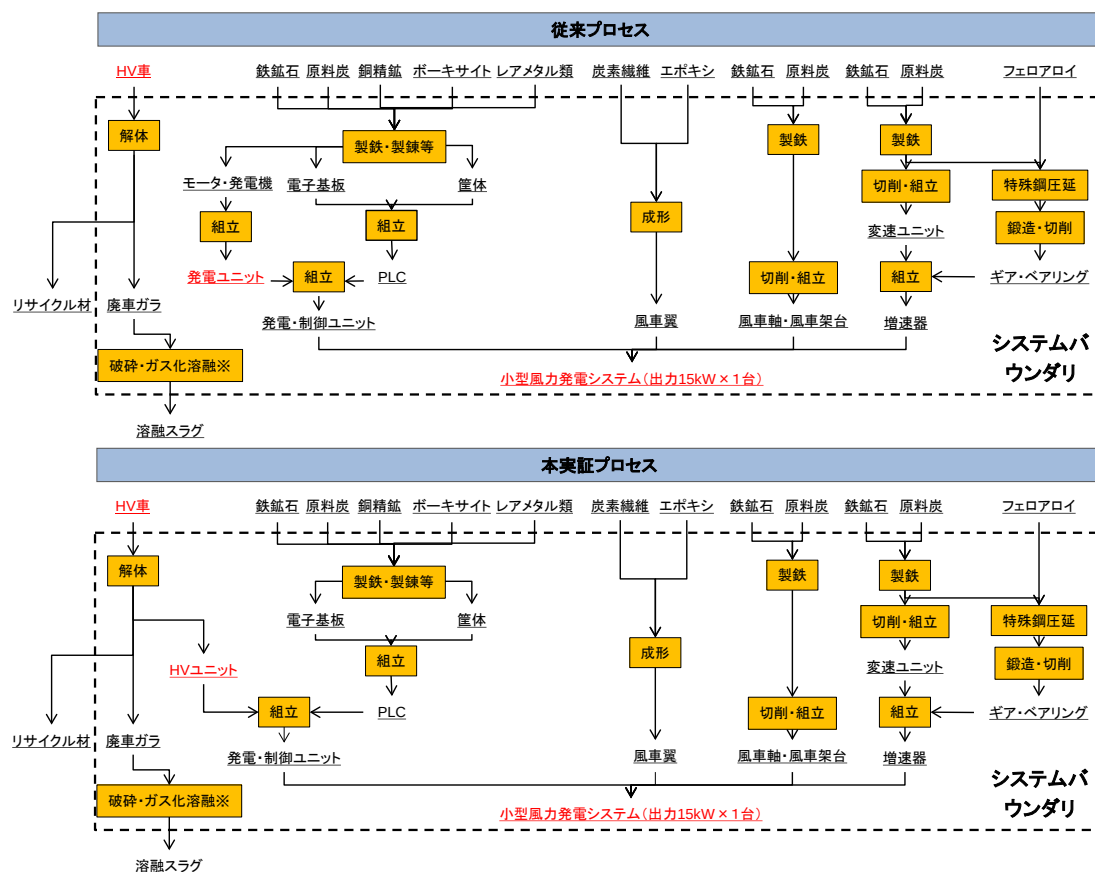
VIII-1. CO2 削減効果(HV システムのリユース)

1 機能単位

本実証では、HV車の部品をリユースする事で得られる環境負荷低減効果を評価する事を目指す。機能単位を「HV車(プリウス) 1台の処分、小型風力発電システム1台の製造」とし、リユース部品を利用する事による環境負荷削減効果を定量的に評価する。

図表 215に従来プロセスと本実証プロセスのシステムバウンダリを示す。本報告書においてシステムとは分析の対象とする個別のプロセスを表しており、システムバウンダリとは、当該システムにおいて環境負荷分析の対象とする範囲を表している。

図表 215 システムバウンダリ(従来プロセスと本実証プロセス)



(注1) 本図では視認性の問題からプロセスを表記捨象しているが、LCAでは計算対象に含めている。

(注2) 小型風車の原料について、最終製品である小型風力発電システムの総重量に占める割合が1%未満の部品については評価対象外としている。

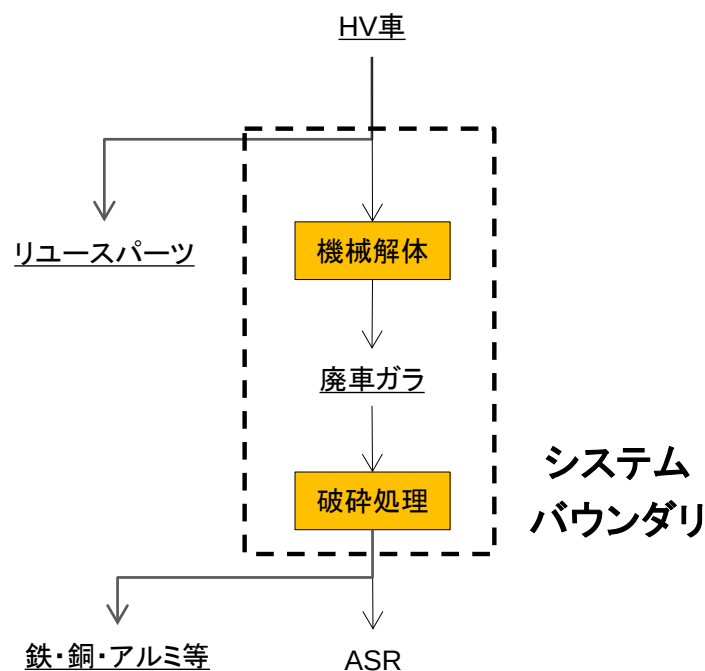
図表 215で示したシステムを構成する、個別プロセスのバウンダリは以下の通りである。

1-1 HV 車の解体・破砕・選別プロセス(従来方式・本実証方式共通)

プリウス1台の処理を評価対象とする。図表 216に解体・破砕・選別プロセスにおける環境負荷分析のシステムバウンダリを示す。尚、プリウス1台を解体し、シュレッダー処理して鉄スクラップ、非鉄スクラップ（銅、アルミニウム）、ASRを得るまでを、解体・破砕・選別プロセスにおけるシステムバウンダリとして想定した。

プリウス以外のマテリアル投入については、特にその製造段階の環境負荷等を特に考慮しないものとした他、解体等で発生した部品類の解体段階の環境負荷等も特に考慮しないものとした。

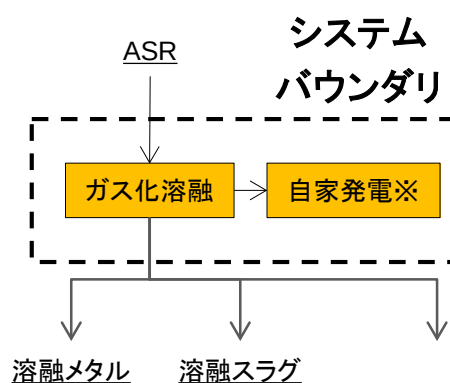
図表 216 システムバウンダリ(解体・破砕・選別)



1-2 ガス化溶融プロセス(従来方式・本実証方式共通)

ASRのガス化溶融処理を評価プロセスとし、環境負荷計算に際してはASR中に含まれる炭素由来のCO₂も計上し、自家発電によるCO₂削減効果も考慮する。図表 217にガス化溶融プロセスにおけるシステムバウンダリを示す。ASRをガス化溶融施設で処理し、溶融メタル、溶融スラグ、溶融飛灰の発生までをバウンダリとして想定した。

図表 217 システムバウンダリ(ガス化溶融)

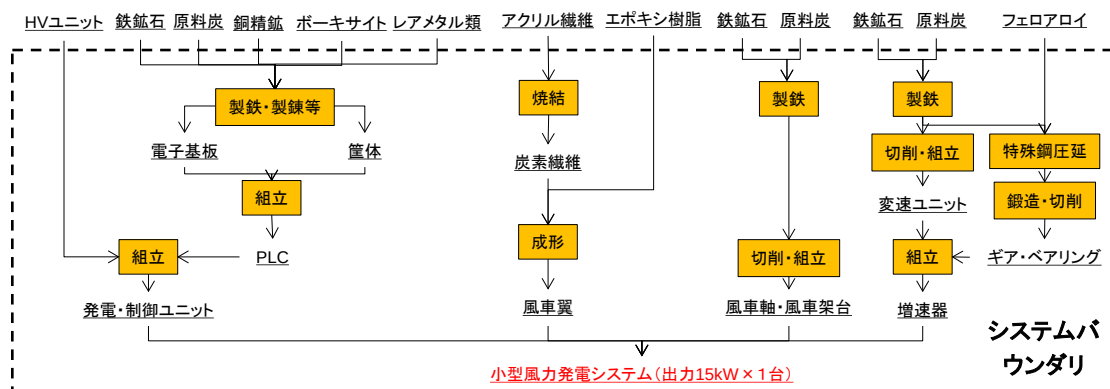


(注) 自家発電によるCO2削減効果も計算対象に含めている

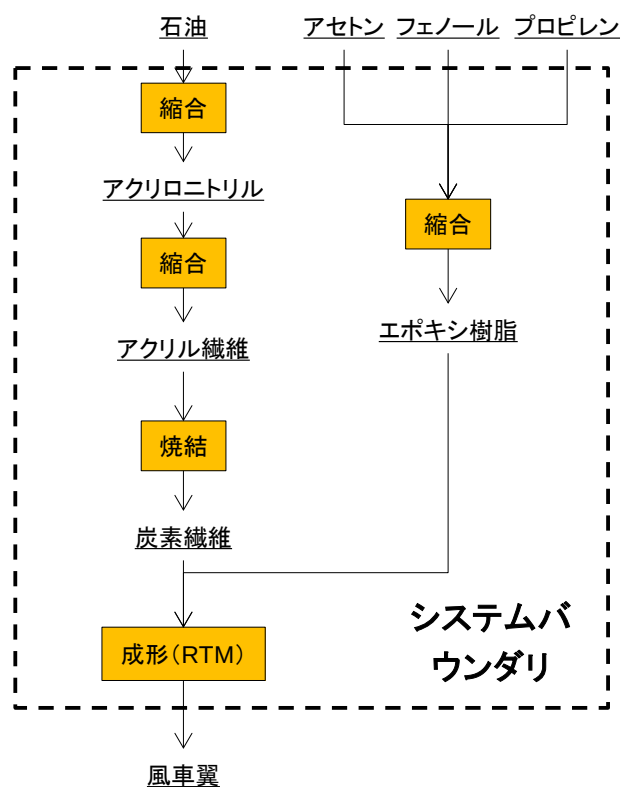
1-3 風車製造プロセス(従来方式・本実証方式共通)

小型風車1台の製造を分析対象とした。図表 218に風車製造プロセスにおけるシステムバウンダリを示す。風車は発電ユニット、風車翼、風車軸・風车架台、増速器の4部分からなり、それぞれの製造プロセスをバウンダリとして想定した。図表 218～図表 221 に個別プロセスのバウンダリ詳細を示す。

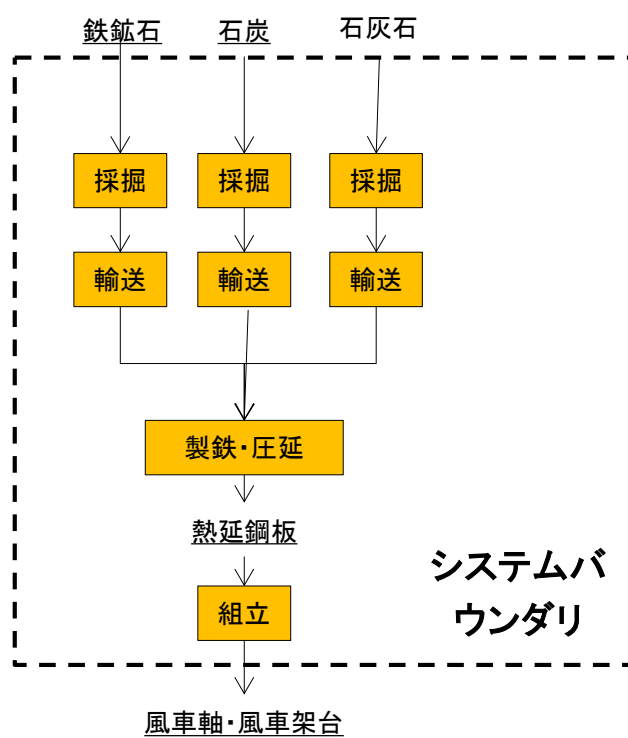
図表 218 システムバウンダリ(小型風力発電システム作成)



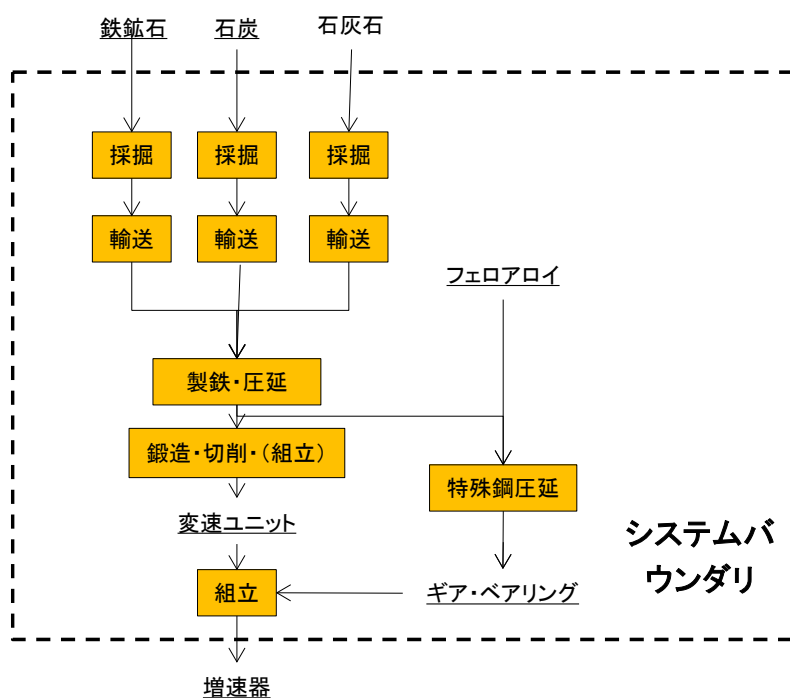
図表 219 システムバウンダリ(風車翼製造)



図表 220 システムバウンダリ(風車軸・風車架台製造)



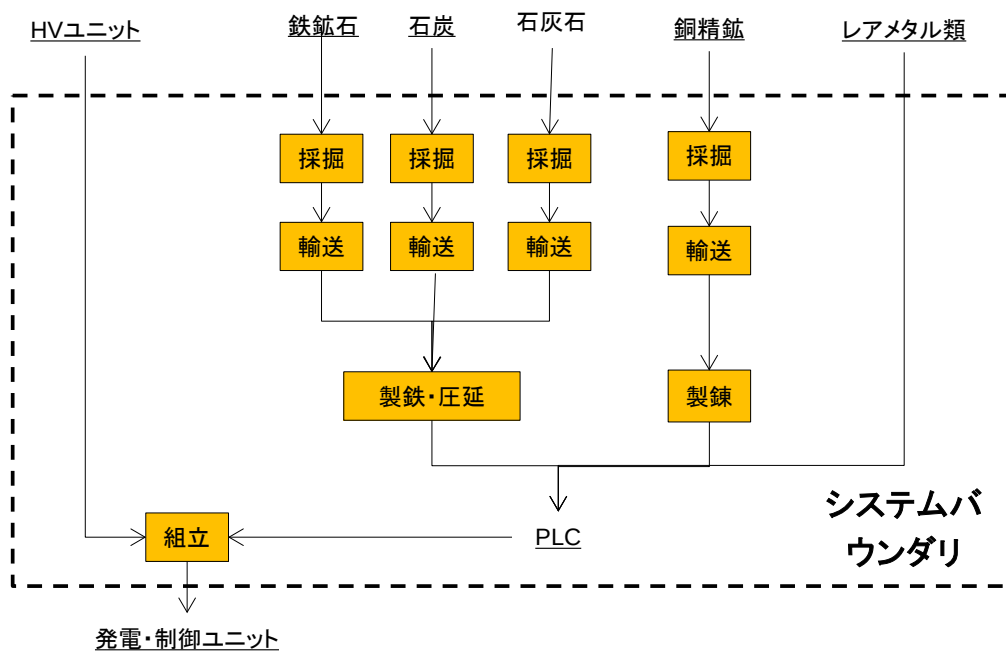
図表 221 システムバウンダリ(増速器製造)



1-4 HV ユニットをリユースした発電ユニット製造(本実証方式のみ)

風車翼、風車軸・風車架台、増速器のユニットは新規方式と共通のため、発電ユニットの製造のみ個別に評価する必要がある。本実証方式においてはHVユニットをリユースした発電ユニット製造を想定する。図表 222に風車発電ユニットの新規製造プロセスにおける環境負荷分析のシステムバウンダリを示す。

図表 222 システムバウンダリ(HVユニットをリユースした発電ユニット製造)

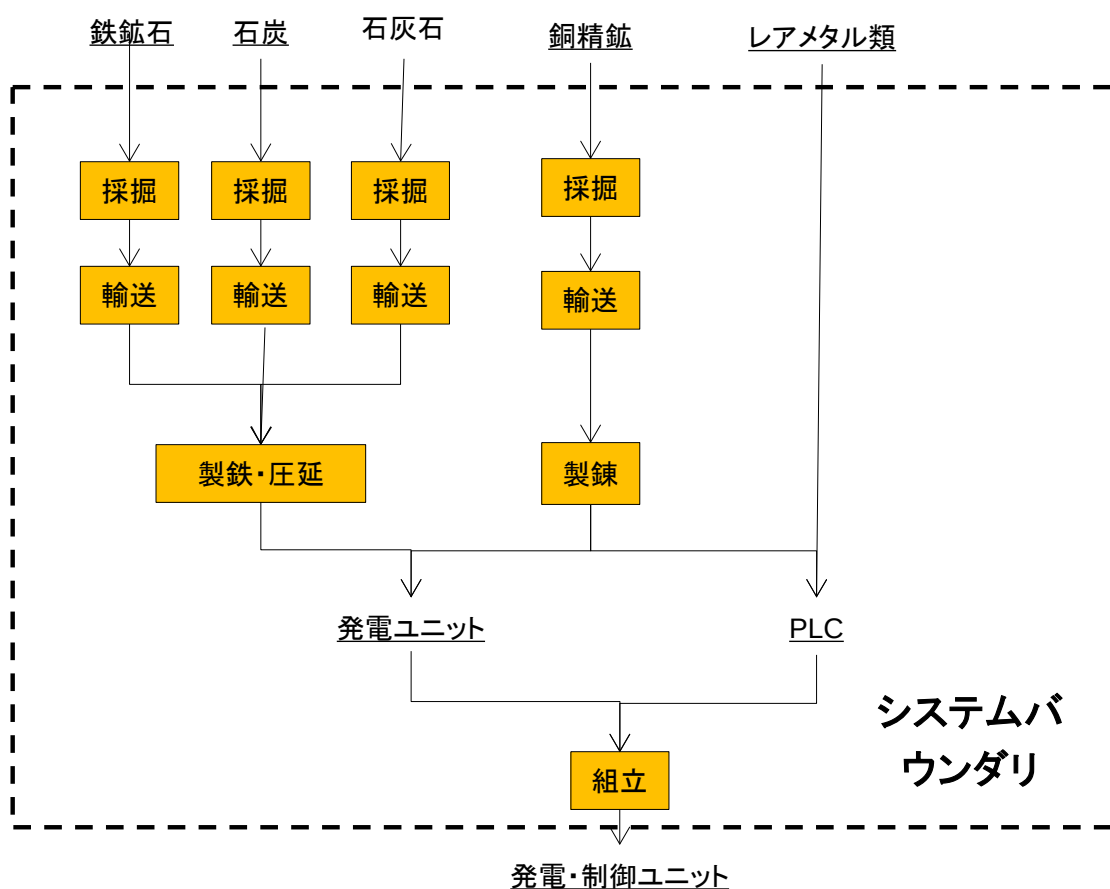


1-5 風車発電ユニットの新規製造プロセス(従来方式のみ)

風車翼、風車軸・風車架台、増速器のユニットは新規方式と共通のため、発電ユニットの新規製造のみ個別に評価する必要がある。従来方式バウンダリにおいては風力発電システムの新規製造を想定する。

図表 223に風車発電ユニットの新規製造プロセスにおける環境負荷分析のシステムバウンダリを示す。HVユニットをリユースした場合と同様の仕様の発電ユニットを新規に作成する事を想定する。

図表 223 システムバウンダリ(風車発電ユニットの新規製造)



2 インベントリ算定項目

投入関係では、処理対象物（HV車）、小型風車原料、電力、各種燃料（ガソリン、軽油、重油、一般炭など）などを対象とした。排出関係では、最終製品（小型風車システム）、被処理物（シュレッダー後のスクラップ、ASR等）、CO2及び廃棄物（スラグなど）を対象とした。

3 インベントリデータ算定とCO2 排出量の算出

3-1 HV 車の解体・破碎・選別プロセス(従来方式・本実証方式共通)

図表 224に解体・破碎・選別プロセスのインベントリを示す。工程を事前解体工程、破碎・選別工程の2工程に分け、それぞれの工程について、投入（Input）と排出・生産（Output）を記述している。

尚、今回リユースされる主要なパーツ類（モーター、バッテリー等）は、従来プロセスにおいても事前解体工程で取り外されるパーツ類であり、風車製造の有無によらず廃車ガラ発生量、ASR発生量は変化しないものとしている。

図表 224 環境負荷のインベントリ(解体・破碎・選別)

	投入（Input）	排出・生産（Output）
事前解体工程	【実証結果からの推計等】 ・ HV車：1,250（kg/台）	【実証結果からの推計等】 ・ HV車①（廃車ガラ）：700（kg/台） ・ HVバッテリー：38（kg） ・ ブロワーファン：1.3（kg） ・ インバータ：21（kg） ・ HVモーター：106(kg) ・ エンジンマウンティング 2.4 : (kg) ・ ラジエータ：9（kg） ・ メインワイヤ、等：8.6（kg） ・ フレームワイヤ：1.6（kg） ・ その他：362（kg/台） ※1 部品重量は実証値を利用 ※2 廃車ガラ重量は、文献 a に記載の数値を自動車重量比で補正して算出 ※3 手解体のため、エネルギー消費によるCO2発生はないものとした。
破碎・選別工程	【実証結果からの推計等】 ・ HV車①（廃車ガラ）：700（kg/台） ・ プレス機電力消費量：5（kWh/台） ・ シュレッダー電力消費量：48.2（kWh/台） ※消費電力は、文献 b より廃車ガラの単位処理重量あたりの必要電力量を算出し、その値を用いて推計	【実証結果からの推計等】 ・ ASR：155（kg/台） ・ 金属スクラップ：545（kg/台） ※1 ASR 重量は、文献 a に記載の数値を自動車重量比で補正して算出

- a) 酒井(2015)「使用済み自動車(ELV)の資源ポテンシャルと環境負荷に関するシステム分析」
b) 三菱UFJリサーチ&コンサルティング(2016)「平成27年度低炭素3R技術・システム実証事業
(自動車リサイクルの全体最適化を念頭に置いた解体プロセスの高度化実証事業) 報告書」

3-2 ガス化溶融プロセス(従来方式・本実証方式共通)

図表 225に、ガス化溶融プロセスのインベントリを示す。参考文献においては1トンのASRの処理を想定しており、そこから単位処理重量あたりの原単位を算出し、推計を行った。

尚、ガス化溶融プロセスの環境負荷計算に際しては、ASR中に含まれる炭素由来のCO₂も計上する事とし、CO₂排出量原単位も参考文献c)に記載の1.24 tCO₂/t-ASRを利用した。又、プロセスエネルギーのCO₂排出量原単位も参考文献c)に記載の、コークス：0.529 tCO₂/t-ASR、LPG・軽油：0.0221 tCO₂/t-ASRを利用した。自家発電によるCO₂削減効果については、平成27年度実績の電気事業者別排出係数に基づき、0.491 tCO₂/t-ASRとした。

図表 225 環境負荷のインベントリ(ガス化溶融プロセス)

	投入 (Input)	排出・生産 (Output)
ガス化溶融 工程	【推計値等】 - ASR : 155 (kg) - 電力 : 49.6 (kWh) - コークス : 26.35 (kg) - 石灰石 : 11.6 (kg) - LPG : 1.2 (Nm³) ※文献 c より	【推計値等】 - 溶融スラグ : 39.8 (kg) - 溶融メタル : 20 (kg) - 溶融飛灰 : 7 (kg) - CO₂ : 201 (kg) ➤ プロセスエネルギー由来 : 85 (kg) ➤ ASR由来等 : 192 (kg) ➤ 自家発電によるCO₂削減効果 : -76 (kg) ※文献 c より

c) 酒井他(2012)「自動車破砕残渣(ASR)の資源化・処理に関するライフサイクルアセスメント」

3-3 風車製造プロセス(従来方式・本実証方式共通)

図表 226～図表 228に小型風車一台の製造におけるインベントリを示す。尚、プログラマティックロジックコントローラは全体重量の1%以下のため、インベントリに計上していない。

図表 226 環境負荷のインベントリ(風車翼製造)

	投入 (Input)	排出・生産 (Output)
エポキシ製造	【推計値等】 ・ アセトン 3.7 (kg) ・ フェノール 11.7 (kg) ・ プロピレン 6.8 (kg) ・ 電力 22.6 MJ ※文献 d より	【推計値等】 ・ エポキシ樹脂 19.7 (kg) ※文献 b より
炭素繊維製造	【推計値等】 ・ アクリロニトリル 93.7 kg ・ 電力 19,309 MJ ※文献 d より	【推計値等】 ・ 炭素繊維 44.3 (kg) ※文献 d より
成形	【推計値等】 ・ エポキシ樹脂 19.7 (kg) ・ 炭素繊維 44.3 (kg) ・ 電力 832 MJ ※文献 e より	【実証値】 ・ CFRP 64.0 (kg) ※文献 e より

d) J L C A-L C Aデータベース 2015年度 4版

e) Tetsuya Suzuki(2005) “LCA OF LIGHTWEIGHT VEHICLES BY USING CFRP”
FOR MASS-PRODUCED VEHICLES”

図表 227 環境負荷のインベントリ(風車軸・風車架台)

	投入 (Input)	排出・生産 (Output)
溶接鋼管の製造	【推計値等】 ・ 鉄鉱石：1,326 (kg) ・ 石灰石：279 (kg) ・ 石炭：502 (kg) ・ 天然ガス：36.9 (kg) ※文献 d より	【実証値】 ・ 風車軸：900 (kg) ・ CO2：1,350 (kg)
アルミニウム地金製造	・ ボーキサイト：796 (kg) ・ 電力：21,698 (MJ) ・ 石灰石：23.87 (kg) ・ 石炭：296 (kg) ・ 天然ガス 57.1 (kg) ※文献 d より	【推計値等】 ・ アルミニウム地金：154 (kg) ・ CO2：1419 (kg) ※文献 d より
アルミニウム鍛造(アルミニウム板)	【推計値等】 ・ アルミニウム地金：154 (kg) ・ 電力：440 (MJ)	【実証値】 ・ アルミニウムストラット：150(kg)

材の製造を 参考に算出)	※文献 d より	
モルタル製 造	【推計値等】 ・ ポルトランドセメント 2328 (kg) ・ 砂 1503 (kg) ・ 水 1166 (kg) ・ 電気 22.1 (MJ) ・ 軽油 1.73 (L) ※文献 d より	【推計値等】 ・ コンクリート : 5,000 (kg) ※文献 d より
土台建築	【推計値等】 ・ コンクリート 5,000 (kg)	【実証値】 ・ 風車架台 : 5,000 (kg)

d) J L C A-L C Aデータベース 2015年度 4版

図表 228 環境負荷のインベントリ(増速器)

	投入 (Input)	排出・生産 (Output)
製鉄・圧延	【推計値等】 ・ 鉄鉱石 : 205.8 (kg) ・ 石灰石 : 40.74 (kg) ・ 石炭 : 70 (kg) ・ 天然ガス 4.72 (kg) ※文献 d より	【推計値等】 ・ 圧延鋼板 : 140 (kg) ・ CO2 : 184.7 (kg) ※文献 d より
組立・加工 (トルクコン バーターの 製造を参考 に算出)	【推計値等】 ・ 圧延鋼板 : 100(kg) ・ 電力 : 233 (MJ)	【実証値】 ・ デフ機構 : 100(kg)
ギア・ベアリ ング製造	【推計値等】 ・ 圧延鋼板 : 40 (kg) ・ 電力 : 79.86 (kWh) ・ LPG : 1.452 (kg) ※文献 d より	【実証値】 ・ ベアリング : 40 (kg) ・ CO2 : 4.356 (kg)

d) J L C A-L C Aデータベース 2015年度 4版

3-4 HV ユニートをリユースした発電ユニット製造プロセス(本実証方式のみ)

図表 229にHVユニットをリユースした発電ユニット製造におけるインベントリを示す。HVユニットをリユースして発電ユニットを製造するため、本実証方式においては環境負荷が発生しない。

図表 229 環境負荷のインベントリ(HVユニットをリユースした発電ユニット製造)

	投入 (Input)	排出・生産 (Output)
組立	【実証値】 ・ HVバッテリー：38 (kg) ・ ブロワーファン：1.3 (kg) ・ インバータ：21 (kg) ・ HVモーター：106 (kg)	【実証値】 ・ 発電・制御ユニット：166.3 (kg)

3-5 風車発電ユニットの新規製造プロセス(従来方式のみ)

図表 230に風車発電ユニットの新規製造プロセスにおけるインベントリを示す。HVユニットをリユースした場合と同様の仕様の発電ユニットを新規に作成する事を想定した。本プロセスは従来実証方式におけるHVユニットをリユースした発電ユニット製造(図表 229)に対応しており、新規に部品を製造するため従来方式では環境負荷が発生する。

図表 230 システムバウンダリ(風車発電ユニットの新規製造)

	投入 (Input)	排出・生産 (Output)
製鉄・圧延	【推計値等】 ・ 鉄鉱石：178 (kg) ・ 石灰石：35 (kg) ・ 石炭：60.6 (kg) ・ 天然ガス 4.08 (kg) ※文献 d より	【推計値等】 ・ 圧延鋼板：121.2 (kg) ・ CO2：160 (kg) ※文献 d より
アルミニウム地金製造	【推計値等】 ・ ボーキサイト：55.8 (kg) ・ 電力：1521 (MJ) ・ 石灰石：1.64 (kg) ・ 石炭：20.8 (kg) ・ 天然ガス 4 (kg) ※文献 d より	【推計値等】 ・ アルミニウム：10.8 (kg) ・ CO2：100 (kg) ※文献 d より
加工・組立 (オルタネーター製造)	【推計値等】 ・ 圧延鋼板：121.2 (kg) ・ アルミニウム：10.5 (kg)	【実証値】 ・ バッテリー：38 (kg) ・ インバータ：21 (kg)

を参考に算出)	- 樹脂：33.3 (kg) - 電力：782 (MJ)	発電機：106 (kg)
組立	【実証値】 - バッテリー：38 (kg) - インバータ：21 (kg) - 発電機：106 (kg)	【実証値】 発電・制御ユニット：166.3 (kg)

d) J L C A-L C Aデータベース 2015年度 4版

4 環境負荷(CO2 排出量)の算出

CO2排出量の算出に際して利用した燃料の発熱量、CO2排出係数などを図表 231に示す。発熱量、CO2排出係数は、最新の環境省令を使用し、インベントリに計上した投入エネルギーに対して下記の排出係数をかける事で、CO2排出量を算出した。

図表 231 CO2排出量の算出に利用した排出係数

		密度		CO2 排出係数		出展	
			(単位)	消費	(単位)	密度	CO2 (消費)
電力 (発電端)	電力平均 (日本)	-	-	0.587	kgCO ₂ /kWh		[3]
原油・石油製品類	軽油	0.843	kg/L	2.58	kgCO ₂ /L	[1]	[4]
石炭類	原料炭	-	-	2.61	kgCO ₂ /kg		[4]
天然ガス類	LPG (液化石油ガス)	-	-	3.00	kgCO ₂ /kg		[4]
	天然ガス (除く液化天然ガス：国産)	0.002	kg/L	2.22	kgCO ₂ /m ³	[2]	[4]

[1] 石油通信社「石油資料」

[2] 空気密度=1.2929、高炉ガス比重／空気比重=0.65として算出

[3] 環境省 「電気事業者別のCO2排出係数 (平成27年度実績)」

[4] 環境省 「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」

4-1 HV 車の解体・破砕・選別プロセス(従来方式・本実証方式共通)

HV車の解体・破砕・選別プロセスにおけるCO2排出量の算出過程を図表 232に示す。従来方式においても本実証方式においても、解体・破砕・選別プロセスで処理する対象は同一のため、本項においてCO2排出量の差は生じない。算出したCO2排出量は0.031 t-CO2となる。

図表 232 CO2排出量の算出(解体・破碎・選別)

	①投入エネルギー	②排出原単位	CO2 排出量 (① ②)
事前解体工程	電力：53.2 (kWh)	0.000587 (t-CO2/kWh)	0.0312 (t-CO2)

4-2 ガス化溶融プロセス(従来方式・本実証方式共通)

ガス化溶融プロセスにおけるCO2排出量の算出過程を図表 233に示す。従来方式においても本実証方式においても、ガス化溶融プロセスで処理する対象は同一のため、本項においてCO2排出量の差は生じない。算出したCO2排出量は0.19 t-CO2となる。

尚、ガス化溶融プロセスの環境負荷計算に際しては、ASR中に含まれる炭素由来のCO2も計上する事とし、CO2排出量原単位も参考文献(c)に記載の1.24 t-CO2/tを利用した。

図表 233 全CO2排出量の算出(ガス化溶融プロセス)

	入量	②排出原単位 ※文献cより	全CO2排出量 (①×②)
ガス化溶融プロセス	ASR：0.155 (t)	ASR 由来等CO2： 1.24 (t-CO2/t-ASR)	0.192 (t-CO2)
		コークス由来CO2 0.529 (t-CO2/t-ASR)	0.082
		LPG・軽油由来CO2 0.022 (t-CO2/t-ASR)	0.003
		自家発電由来CO2削減： -0.491 (t-CO2/t-ASR)	-0.076
合計	-	-	0.202

c)酒井他(2012)「自動車破碎残渣(ASR)の資源化・処理に関するライフサイクルアセスメント」

4-3 風車製造プロセス(従来方式・本実証方式共通)

風車製造プロセスにおけるCO2排出量の算出過程を図表 234～図表 236に示す。従来方式においても本実証方式においても、風車翼・風車軸・風車架台、増速器は新規に製造するため、本項においてCO2排出量の差は生じない。それぞれのプロセスにおけるCO2排出量は、風車翼製造：3.29 t-CO2、風車軸・風車架台：5.81 t-CO2、増速器：0.28 t-CO2となる。

図表 234 CO2排出量の算出(風車翼製造)

	①投入エネルギー	②排出原単位	CO2 排出量 (①×②)
エポキシ製造	電力：6.28 (kWh)	0.000587 (t-CO2/kWh)	0.003 (t-CO2)
炭素繊維製造	電力：5363 (kWh)	0.000587 (t-CO2/kWh)	3.148 (t-CO2)
成形	電力：231 (kWh)	0.000587 (t-CO2/kWh)	0.136 (t-CO2)
合計	-	-	3.287 (t-CO2)

図表 235 CO2 排出量の算出(風車軸・風車架台)

	①投入エネルギー	②排出原単位	CO2 排出量 (①×②)
溶接鋼管の製造	石炭：502 (kg)	0.00261 (t-CO2/kg)	1.310 (t-CO2)
	天然ガス：36.9 (kg)	0.00110 (t-CO2/kg)	0.041 (t-CO2)
アルミニウム地金製造	電力：6027 (kWh)	0.000587 (t-CO2/kWh)	3.538 (t-CO2)
	石炭：296 (kg)	0.00261 (t-CO2/kg)	0.772 (t-CO2)
	天然ガス：57.1 (kg)	0.00110 (t-CO2/kg)	0.063 (t-CO2)
アルミニウム鍛造	電力：122 (kWh)	0.000587 (t-CO2/kWh)	0.072 (t-CO2)
モルタル製造	電力：6.1 (kWh)	0.000587 (t-CO2/kWh)	0.0036 (t-CO2)
	軽油：1.73 L	0.000258 (t-CO2/L)	0.0044 (t-CO2)
合計	-	-	5.805 (t-CO2)

図表 236 CO2排出量の算出(増速器)

	①投入エネルギー	②排出原単位	CO2 排出量 (①×②)
製鉄・圧延	石炭：70 (kg)	0.00261 (t-CO2/kg)	0.183 (t-CO2)
	天然ガス：4.72 (kg)	0.00110 (t-CO2/kg)	0.005 (t-CO2)
組立・加工	電力：64.7 (kWh)	0.000587 (t-CO2/kWh)	0.038 (t-CO2)
ギア・ベアリング製造	電力：79.9 (kWh)	0.000587 (t-CO2/kWh)	0.047 (t-CO2)
	LPG：1.45 (kg)	0.00300 (t-CO2/kg)	0.004 (t-CO2)
合計	-	-	0.277 (t-CO2)

4-4 HV ユニートをリユースした発電ユニット製造プロセス(本実証方式のみ)

HVユニットをリユースして発電ユニットを製造するため、本実証方式においては環境負荷が発生しない。

4-5 風車発電ユニットの新規製造プロセス(従来方式のみ)

風車発電ユニット製造プロセスにおけるCO2排出量の算出過程を図表 237に示す。本実証方式ではHVユニットを発電ユニットとしてリユースするため、本プロセスの環境負荷は従来方式にのみ計上される。算出したCO2排出量は0.60 t-CO2となる。

図表 237 CO2排出量の算出(風車発電ユニットの新規製造)

	①投入エネルギー	① 出原単位	CO2 排出量 (①×②)
製鉄・圧延	石炭：60.6 (kg)	0.00261 (t-CO2/kg)	0.16 (t-CO2)
	天然ガス：4.08 (kg)	0.00110 (t-CO2/kg)	0.004 (t-CO2)
アルミニウム 地金製造	電力：423 (kWh)	0.000587 (t-CO2/kWh)	0.25 (t-CO2)
	石炭：20.8 (kg)	0.00261 (t-CO2/kg)	0.05 (t-CO2)
	天然ガス：4 (kg)	0.00110 (t-CO2/kg)	0.004 (t-CO2)
加工・組立	電力：217 (kWh)	0.000587 (t-CO2/kWh)	0.13 (t-CO2)
合計	-	-	0.597 (t-CO2)

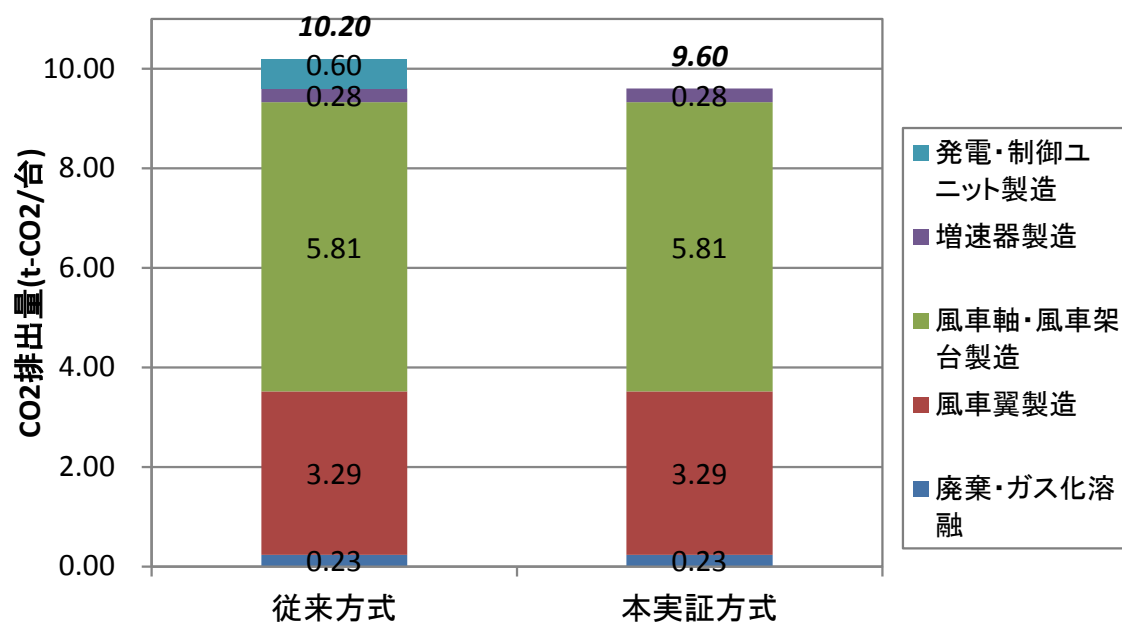
5 環境負荷(CO2 排出量)分析結果

「小型風力発電システム (15 kW) 1台の製造」の環境負荷を従来方式と本実証方式で比較すると、従来方式では新規に発電ユニットを製造する必要があるため、リユース部品を利用する本実証方式の方が、CO2排出量(t)は約6% (0.60 t) 少なくなる(図表 238、図表 239)。

図表 238 HV車(プリウス)1台の処分、小型風力発電システム1台の製造による環境負荷
(CO2排出量(t-CO2/台))

プロセス名	CO2 排出量 (t)	
	従来方式	本実証方式
廃棄・ガス化溶融	0.23	0.23
風車翼製造	3.29	3.29
風車軸・風車架台製造	5.81	5.81
増速器製造	0.28	0.28
発電・制御ユニット製造	0.60	0
合計	10.20	9.60

図表 239 HV車(プリウス)1台の処分、小型風力発電システム1台の製造による環境負荷(CO2排出量(t-CO2/台))



VIII-2. 天然資源消費量(HV システムのリユース)

1 機能単位

本実証においてHVユニットをリユースされる事で削減されるバージン資源の量を評価する。機能単位は、CO2排出量を評価した際と同様の「HV車(プリウス) 1台の処分、小型風力発電システム1台の製造」とし、評価範囲・バウンダリも図表 215と同様のものを利用する。

2 天然資源消費量の評価

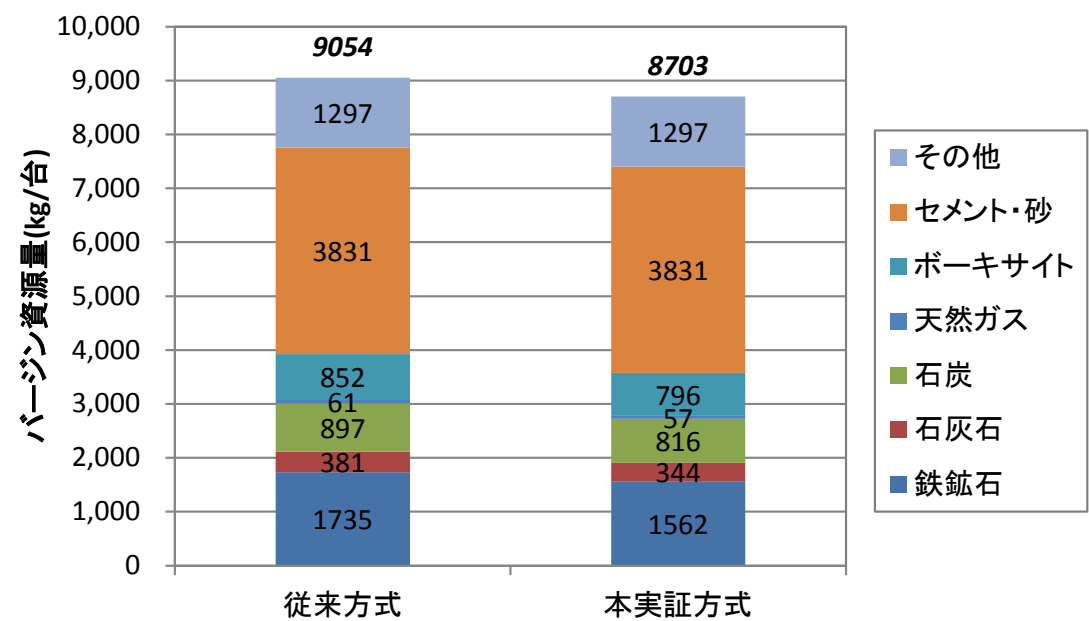
CO2排出量計算時に利用したインベントリデータを基に、バージン資源の使用量を整理した。尚、最終製品である小型風力発電システムの総重量に占める割合が1%未満の部品については評価範囲の対象外としている。

従来方式と本実証方式で比較すると、本実証方式では新規に発電ユニットを製造する必要がないため、鉄鉱石やボーキサイトといったバージン資源の量が少なくなる。重量で比較すると、本実証方式は従来方式と比べ、バージン資源の必要量が約4%(351kg)少なくなる(図表 240、図表 241)。

図表 240 HV車(プリウス)1台の処分、小型風力発電システム1台の製造
におけるバージン資源の使用量(kg/台)

バージン資源種	バージン資源量 (kg)	
	従来方式	本実証方式
鉄鉱石	1,735	1,562
石灰石	381	344
石炭	897	816
天然ガス	61	57
ボーキサイト	852	796
コンクリート	3,831	3,831
その他	1297	1297
合計	9,054	8,703

図表 241 HV車(プリウス)1台の処分、小型風力発電システム1台の製造におけるバージン資源の使用量(kg/台)



VIII-3. その他の環境負荷低減効果

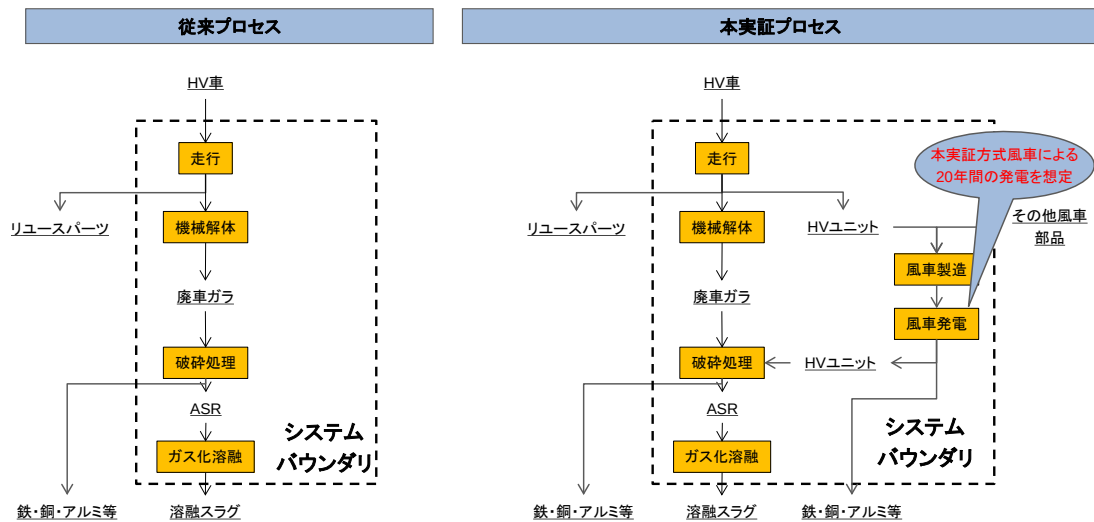
前掲では、HV車(プリウス) 1台の処分プロセスや小型風力発電システムの製造プロセスの違いに注目して評価を行ったが、1台のHV車が「走る」という機能以外に新たな機能を加えて利用出来るとした場合、どのような付加価値（エネルギー収支の改善や便益等）をもたらすのかを定量的に評価するため、ここではHV車の利用方法の違い（HV車を自動車としてのみの利用する場合とHV車を自動車及び小型風力発電システムとして利用する場合）に着目して評価する事を試みた。

1 エネルギー収支の改善効果(HV車のライフサイクルでの活用)

1-1 機能単位

機能単位を「1台のHV車（プリウス）のライフサイクルでの活用（走行もしくは部品をリユースする事による小型風力発電システムとしての発電を含む）」とし、HVユニットを活用した風車による発電プロセスまでもバウンダリに含めて、エネルギー収支の改善効果をCO2換算で評価した。本実証におけるプロセスの評価範囲と、比較対象とする従来プロセスの評価範囲を図表 242に示す。

図表 242 システムバウンダリ(HV車のライフサイクルでの活用)
従来プロセスと本実証プロセス



(注1) 本図で比較対象としているのは、HV車を自動車としてのみ利用する場合（従来プロセス）とHV車を自動車及び小型風力発電システムとして利用する場合（本実証プロセス）である（HV車の処分方法や小型風力発電システムの製造方法の差異を評価しているわけではない事に注意）。

(注2) 小型風車の原料について、最終製品である小型風力発電システムの総重量に占める割合が1%未満の部品については評価対象外としている。

(注3) 小型風車による発電効果（創エネルギー効果）は、マイナスのCO2排出効果として整理した。この発電量のCO2換算は、一般電源の排出係数を用いた（発電期間は20年間、排出係数は平成27年度環境省令である0.000587 tCO2/kWh）。

1-2 インベントリ算定項目

投入関係では、処理対象物（HV車）、小型風車原料、電力、各種燃料（ガソリン、軽油、重油、一般炭など）などを対象とした。排出関係では、被処理物（シュレッダー後のスクラップ、ASR等）、CO₂及び廃棄物（スラグなど）を対象とした。

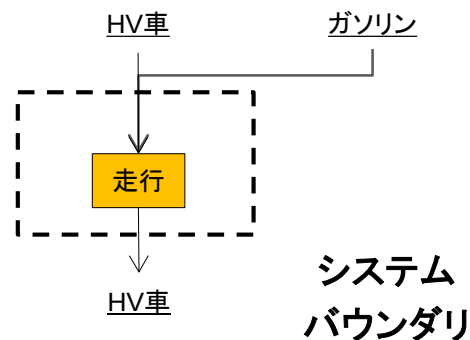
1-3 バウンダリ(分析境界)

図表 242に示したシステムバウンダリの、個別プロセスの詳細を以下に示す（VIII-1.）で想定するシステムバウンダリと共通する部分が多いため、“VIII-1. 1. 機能単位”で詳述したプロセスは省略し、図表 242で新たに考慮するプロセスのみを記載する。）

① HV車の走行プロセス

図表 243に走行プロセスにおける環境負荷分析のシステムバウンダリを示す。プリウス1台が廃車になるまでの走行を想定し、走行距離は10万kmとした。

図表 243 システムバウンダリ(走行)



② 本実証方式の風車による発電プロセス

本実証方式の小型風力発電システムによる1 kWhの発電とした。発電期間は20年間を想定した。

1-4 インベントリデータ算定の考え方

インベントリデータ算定の考え方を以下に示す。VIII-1. で想定するシステムバウンダリと共通する部分が多いため、“VIII-1. 2. インベントリ算定項目”で詳述したインベントリデータは省略し、図表 242で新たに考慮するインベントリデータのみを記載する（VIII-1. において評価されたCO₂排出量には一部非エネルギー起源のCO₂を含むため、それらを除いたものをエネルギー収支（CO₂換算）評価のためのインベントリデータとして活用した）。

① HV車の走行プロセス（共通）

図表 244に走行プロセスのインベントリを示す。投入 (Input) と排出・生産 (Output) を記述している。データは文献値で得られたもの、及びカタログスペック等を用いている。

図表 244 環境負荷のインベントリ(走行)

	投入 (Input)	排出・生産 (Output)
走行	【文献値からの推計】 ・ HV車 : 1, 250 (kg/台) ※2 世代プリウスのカタログ値 ・ ガソリン 2817 L(燃費をカタログ値 35.5 km/Lと想定)	【文献値等からの推計】 ・ HV廃車 : 1, 250 (kg/台) ・ CO2 6, 540 (kg)

② 本実証方式の風車による発電量と既存風車による発電量との差分

風車発電によるCO2排出量削減効果を評価するため、本実証方式の風車による発電量と既存風車による発電量との差分を創エネルギー効果として本実証方式のエネルギー収支に計上した。発電量の差分に一般電源の排出係数をかけたものを環境負荷削減効果として算出する。発電期間は20年間とし、排出係数は平成27年度環境省令である0.000587 tCO2/kWhとする。

1-5 エネルギー収支分析結果

「1台のHV車（プリウス）のライフサイクルでの活用」のエネルギー収支を従来方式（HV車を自動車としてのみ利用する場合）と本実証方式（HV車を自動車及び小型風力発電システムとして利用する場合）で比較すると、本実証方式では年間約6,230 kWhの創エネルギー効果（CO2換算で $6,230 \text{ kWh/年} \times 20 \text{ 年} \times 0.000587^1 = 73.1 \text{ t-CO}_2/\text{台} \cdot 20 \text{ 年}$ ）が得られる。HV車の走行、廃棄・ガス化溶融、風車製造にかかるエネルギー消費までを含めて考えると、最終的にエネルギー収支（CO2換算）で、ライフサイクル（20年）として $57.15 \text{ t-CO}_2/\text{台} \cdot 20 \text{ 年}$ （年間 $2.8575 \text{ t-CO}_2/\text{台}$ ）相当の削減効果がある（図表 245、図表 246）。

¹平成 30 年度の排出係数は、0.000587(t-CO2/kWh) （H29 年 12 月 27 日環境省公表）。

図表 245 1台のHV車のライフサイクル(20年)でのエネルギー収支
(CO2排出量(t-CO2/台・20年)換算の消費・発生エネルギー)

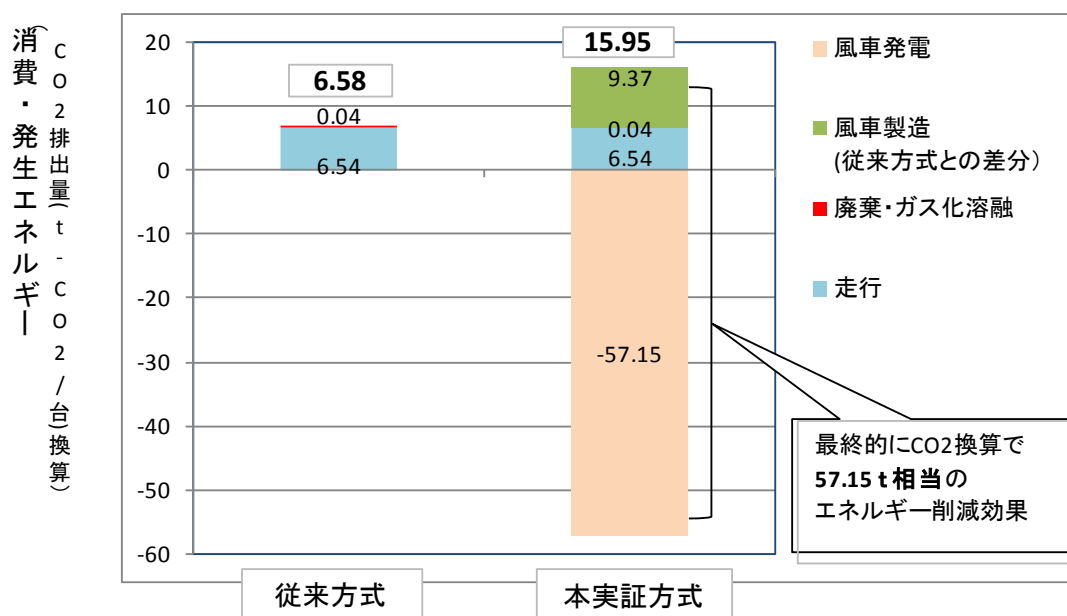
プロセス名	エネルギー収支 (CO2 排出量(t-CO2/台・20年)換算)	
	従来方式	本実証方式
走行 (注1)	6.54	6.54
廃棄・ガス化溶融 (注2)	0.04	0.04
風車製造 (注3)	-	9.37
風車発電	-	-73.1
合計	6.58	-57.15

注1: ガソリン利用量 2817 L×排出原単位 0.00232 t-CO2/L =6.54 t-CO2

注2: 廃棄は図表 232と同様、ガス化溶融については図表 233のうちASR由来のCO2を差し引いたもの

注3: 図表 238における風車翼製造、風車軸・風車架台製造、増速器製造の合計値と同様

図表 246 1台のHV車のライフサイクル(20年)でのエネルギー収支
(CO2排出量(t-CO2/台・20年)換算の消費・発生エネルギー)



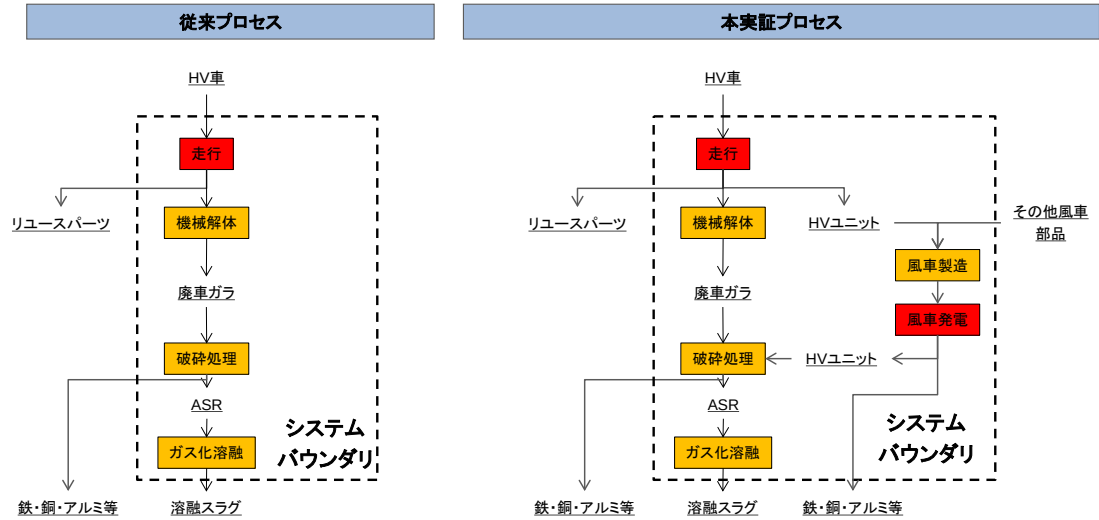
2 発電に伴う便益拡大効果

2-1 機能単位

本実証では、HV車の利用度を高度化させる事により、これに用いられた資源から得られる便益を最大化させる事(資源効率の向上)を目指している。これを踏まえ、機能単位を「HV車1台がもたらす便益」とし、従来プロセスと本実証プロセスを便益で比較する。具体的には、小型風力発電事業を実施する事で、どの程度便益が増加するかを簡易的に計算する。

便益の算定方法については、国土交通省が採用している走行時間減少便益や走行経費削減便益の考え方²を参考とし、HV車の利用によって得られる便益は、その自動車を購入し、又、維持等するために要する費用に等しいとした。本実証におけるプロセスの評価範囲と、比較対象とする従来プロセスの評価範囲を図表 247に示す。

図表 247 システムバウンダリ(従来プロセスと本実証プロセス)



2-2 便益の算定方法

① HV車にかかる便益

HV車の利用によって得られる便益は、先述の考え方を参考とし、HV車の調達費用、燃料費、維持費の合計に等しいとみなした。

図表 248 1台のHV車にかかる費用(円／台)

品目	費用
自動車本体価格(注 1)	2, 500, 000
燃料費(注 2)	418, 606
管理維持費(注 3)	609, 840
合計	3, 528, 446

注1：2世代プリウスの新車販売価格
 注2：ガソリン利用量 2817 L×ガソリン単価 148.6円/L³=418, 606円
 注3：利用期間12年⁴×管理維持費50, 820 円/年⁵=508, 200円

② 風力発電にかかる便益

² 国土交通省「費用便益分析マニュアル」(2008 年)
³ 資源エネルギー庁「石油製品価格調査」2015 年ガソリン価格全国実績の平均値
⁴ 自動車検査登録情報協会「我が国の自動車保有動向」車種別の平均使用年数推移 2015 年実績
⁵ 総務省統計局「家計消費状況調査」2015 年世帯あたりの年間自動車整備費

風力発電による便益を、風力発電事業により得られる売電収入として計算した。売電価格はFIT価格を利用した。

2-3 便益の算定

図表 249に1台のHV車の便益の計算結果を示す。小型風力発電システムとして再利用する事で約23,353,000円の新たな付加価値を創出しており、そのまま廃棄する従来方式と比べて便益が7倍程度になった。

図表 249 1台のHV車の便益(円／台)

	従来方式	本実証方式 (目標ケース)
HV車にかかる便益(注1)	3,528,446	3,528,446
風車発電にかかる便益(注2)	-	23,353,000
合計	3,528,446	26,881,446

注1：HV車の価格、燃料費、維持費といった費用と便益が同等であると仮定

注2：売電価格をFIT小型風車の55円/kWhと想定

注3：目標ケースにおいては年間発電量21,230 kWh/年×20年×55円/kWh=23,353,000円

IX. 事業実現可能性評価

IX-1. 技術的実現性

1 リユース品の信頼性

HV車から主要部品を回収し、リユースして、小型風車をリマンする事業における最大の技術的課題は、リユース品の品質保証である。リユース品は、その使用履歴が、千差万別で、結果、当然の事ながら、品質のバラツキが想定される。リユースした後の仕様とリユースする前の本来製造された仕様との違いによる品質の信頼性の確認も必要である。そこで、今回リユースする全15部品についてその品質上の課題・問題を以下の通りまとめた。

1-1 モーター

昨年度事業において、モーター内部品を製造元であるトヨタ自動車の協力を得て「無限寿命品」と「有限寿命品」に分類した結果、モーター内の4つのベアリング（カウンタNo. 1LH、カウンタNo. 1RH、カウンタNo. 2 LH、カウンタNo. 2 RH）についてのみ「有限寿命」であると判定された。

従って、本事業では、ベアリングの評価、交換、交換後の評価を行う事により今回リユースするモーターの信頼性について検討を加える事にした。

1-2 電池パック

第Ⅲ章でも言及した通り、ニッケル水素電池は、充放電を繰り返すことにより負極の抵抗が大きくなり劣化の症状が見られる。これは、主に負極に使用されている水素吸蔵合金＝鉄とレアアース（ランタン＋セリウム）の合金の表面が酸化する事により起きる現象である事が分かっているが、劣化を防ぐ方法はない。従って、定期的に抵抗を測定し、劣化しているモジュールを交換する事により信頼性を担保して行く必要がある。2次電池は、基本的に充放電を繰り返すことにより必ず劣化する。車載では、過充電・過放電による劣化の進行を防ぐためにSOC(Storage of Charge)管理を行っている。通常容量に対して20%－80%にて制御している。風車へのリユース品仕様としては、今回40%－60%で制御する事により、負荷を制限しているが、本事業では、安全を見て、3年毎に交換する事を前提とした。

1-3 その他

その他、HV-ECU、インバーター（PCU）、ラジエーター、ラジエーターファン、電池ファン、水冷ポンプ、各種高圧ハーネス、通信用ハーネス、各種コネクタ及び端子類等は、基本無限寿命と分類され、定期的な点検を持って、リユース品としての信頼性の担保が可能であると判断した。

2 車載用部品の信頼性

本事業では、リユース品以外にもリマンする風車のコストパフォーマンスを向上させるために通常の仕様とは違う条件で車載用部品を使用している。これらについても同様に次の通り、信頼性の確認を行った。

3 ディファレンシャルギア

トラックのデフを今回は、増速機として使用するが、デフ内の全ての部品は、無限寿命と判定され、信頼性問題無いこと事確認。

3-1 プロペラシャフト

デフ同様、トラックのペラシャフトを今回は、ユニバーサルジョイント機能を持ったフレキシブルカップリングの代替として使用するが、やはり、全てが無限寿命のため問題ない事を確認。

3-2 エアディスクブレーキ

やはり、トラックのブレーキを風車停止時及び減速時のブレーキとして使用。車載でも同様であるが、ブレーキパッドは、基本交換部品。風車での使用頻度は、車載と比べて相当低いが、保安部品であるため、定期点検にて交換をする仕組みを確立する事により信頼性を担保する。

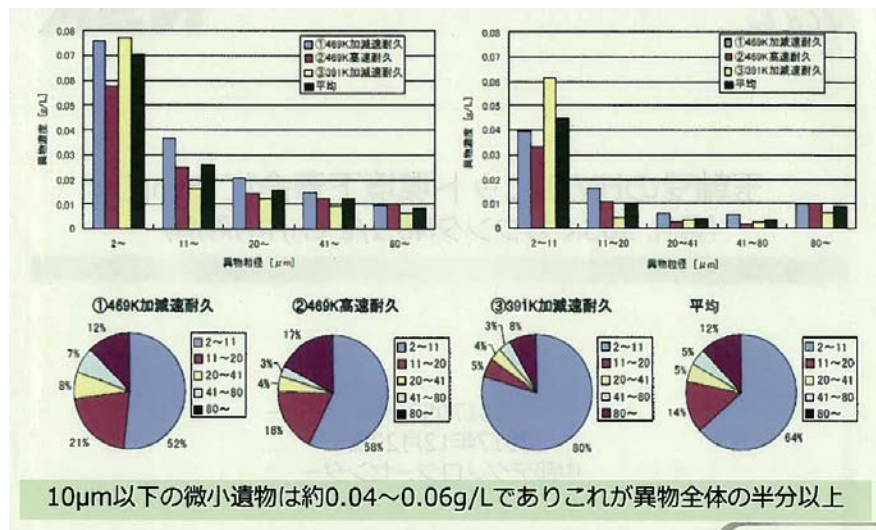
4 ベアリング評価

4-1 ベアリング試験

1-1で検討を必要と判断したベアリング評価をするために製造元である日本精工（株）の協力を得て試験を行った。試験は、次の手順で行われた。

- ① 使用済みHV車から回収したモーター内の潤滑油中にコンタミした異物検査（図表 250）。

図表 250 潤滑油検査結果



出所) 日本精工 (株)

② 試験を行うベアリングの特定と試験条件 (図表 251)

図表 251 潤滑油評価とベアリング使用係数

《実機を想定した軸受単体寿命試験の異物条件》

異物粒径	2~11 μm	11~20 μm	20~41 μm	41~80 μm	80~150 μm	合計
異物濃度*	0.051g/L	0.011g/L	0.0045g/L	0.0035g/L	0.010g/L	0.08g/L

* 異物濃度は最大値とし、異物の種類は全て鉄系異物(Hv720~850)とした条件にて試験実施。

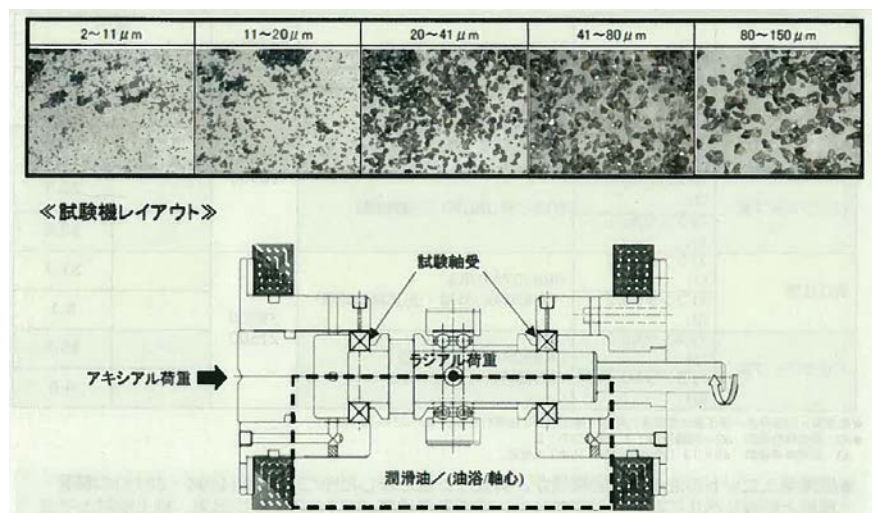
《試験軸受及び軸受単体耐久試験条件》

軸受形式	軸受名番 (サイズ)	Cr Cor	荷重条件	異物条件	潤滑条件	回転速度	計算寿命* (L10)
深溝玉軸受	6206 (φ30×φ62×16)	19500N 11300N	Fr=6276N Fa=0N (P/Cr=0.32)	上表 ご参照	油種: JWS3324 油温:120℃ 油量:軸心	3000rpm	166.6hr
円すいころ軸受	HR32006XJ (φ30×φ55×17)	36000N 44500N	Fr=9379N Fa=6847N (P/Cr=0.33)			4000rpm	163.0hr

* a3=1(異物考慮なし)とした場合の計算寿命である。
試験時間は、軸受破損まで、あるいは上表記載の計算寿命の3倍(500hrs)でOKストップとする。

出所) 日本精工 (株)

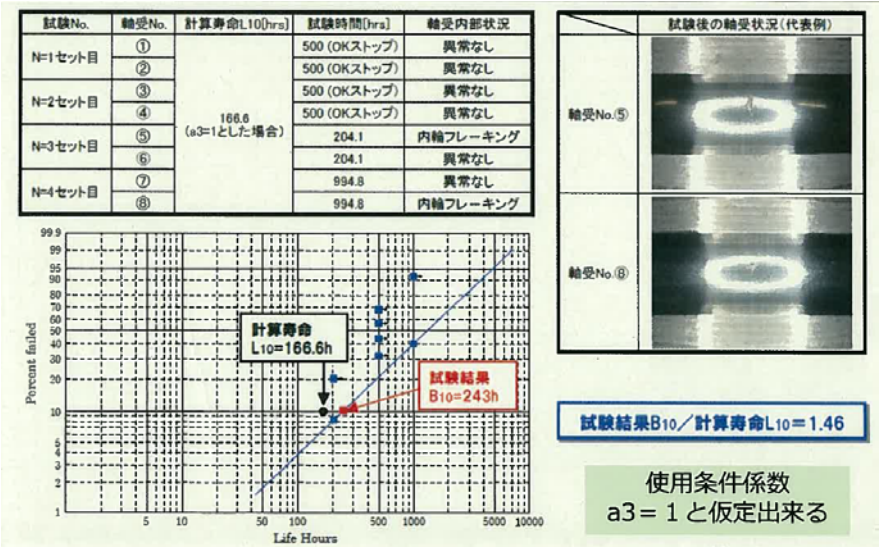
図表 252 ベアリング試験方法



出所) 日本精工 (株)

③ 試験結果 (図表 253)

図表 253 ベアリング試験結果



出所) 日本精工 (株)

4-2 ベアリング評価

1-1と平行して、リユース品としての仕様条件を図表 254にて設定し、4-1の試験結果と合わせて、リユース品としてのベアリング評価を実施（図表 255）

図表 254 風車仕様ベアリング評価前提条件

風速 m/s	風車軸 回転速度 (rpm)	風車軸 トルク (Nm)	Counter-1軸 回転速度 (rpm)	Counter-1軸 トルク (Nm)	Counter-2軸 回転速度 (rpm)	Counter-2軸 トルク (Nm)	頻度
0	0	0	0	0	0	0	0.0%
1	8	4	102.9	0.3	70.2	0.5	0.8%
2	18	30	231.6	2.3	158.0	3.4	2.9%
3	26	85	334.6	6.6	228.2	9.7	5.8%
4	34	159	437.5	12.4	298.4	18.1	8.9%
5	40	270	514.7	21.0	351.0	30.8	11.4%
6	47	407	604.8	31.6	412.4	46.4	12.9%
7	55	562	707.8	43.7	482.6	64.0	13.3%
8	63	743	810.7	57.7	552.8	84.7	12.5%
9	71	948	913.7	73.7	623.0	108.0	10.9%
10	79	1180	1016.6	91.7	693.2	134.5	8.9%
11	86	1438	1106.7	111.7	754.7	163.9	6.8%
12	94	1722	1209.7	133.8	824.9	196.2	4.9%

出所) 日本精工 (株)

図表 255 ベアリング評価結果

仕様	部位	弊社軸受名番(熱処理仕様)	新Cr新 Cor[N]	寿命	
				使用率[%]※1	
				a3=0.3	a3=1
現行仕様	カウンタNo.1 LH	B35-136UB (内外輪,玉 通常熱処理)	29800 16900	152.4	45.7
	カウンタNo.1 RH			85.4	25.6
バックアップ案	カウンタNo.1 LH	B35-136UBUR3 (内輪特熱)	29800 16900	76.2	22.9
	カウンタNo.1 RH			42.7	12.8
現行仕様	カウンタNo.2 LH	HR6307A7UR3 (内輪特熱 / 外輪・玉 通常熱処理)	39500 21500	105.5	31.7
	カウンタNo.2 RH			26.9	8.1
バックアップ案	カウンタNo.2 LH	HR6307A7QTF24UR3 (内輪特熱 + 玉EQTF2)	39500 21500	52.8	15.8
	カウンタNo.2 RH			13.4	4.0

●使用率 = 目標寿命 / 補正後の定格疲れ寿命 補正後の定格疲れ寿命 $L = a_2 \times a_3 \times L_{10}$
●a2 : 寿命特性係数 a2 = 内輪特熱 : 2 玉EQTF : 2
a3 : 使用条件係数 a3 = 0.3 (303K検討時) 又は 1 と仮定。

●風車用ユニットの油中の異物環境が、弊社で評価しましたHVユニット(469K・391K)の潤滑環境と同等レベルにあると仮定すると、使用条件係数a3は1とおく事が出来、机上検討上では現行仕様の軸受においても成立する見込みとなります。

出所) 日本精工 (株)

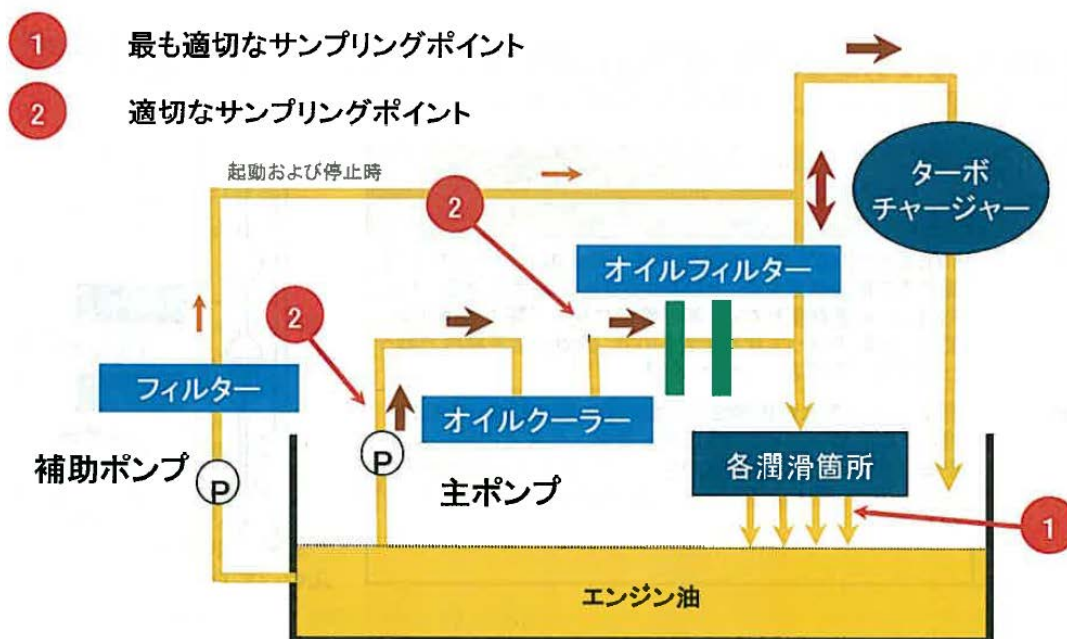
図表 255の右端の数字は、20年間のリユース仕様前提に対する使用率を%でしている。つまり、これが100を超えると寿命以上に使用する事となり、NGとなるが、今回の評価では、現行品（通常の車載搭載品）でも十分使用範囲に収まる事が検証された。尚、右端のa3=1とは、評価を行うベアリングの使用条件係数であり、これは、潤滑油の検査結果に充当する。つまり、今回検査した潤滑油は、使用済みHV車から採取しており、リユース品であるベアリングを取り巻く使用条件を決定している。見方を変えれば、使用条件が、今回同様のa3=1であれば、ベアリングは、リユース品としての信頼性を十分に確保できる事になる。

4-3 まとめ

リユース品としてのベアリング寿命が適切な潤滑油環境であれば、リユース後も十分に信頼性がある事が確認された。現行ベアリング品は、比較的安価で調達可能であり、ベアリングを交換する工程も第Ⅲ章で確立している。よって、回収後はリユース前にベアリングを今回評価対象とした4個全て交換する事により、やはり課題であったリユース前の使用条件の違いによるバラツキも同時に解決できる事となった。尚、通常HV車においては、使用済みとなる以前でのモーター内の潤滑油交換は行わない。従って、今回のリユース品の信頼性をさらに向上させるために、回収後に潤滑油も新品と交換する事も提案する。さらに交換前の潤滑油については、不特定に検査をし、異物コンタミの状況を把握していく事も肝要である。正確な潤滑油の評価のための適切なサンプリング方法についてもメーカーより図表 256にて情報収集済みである。

図表 256 潤滑油サンプリング採取方法

適切な採取箇所



出所) 関連文献より豊田通商にて抜粋

5 小型風車の制作・運転・保守

本事業において、実機にてその製作・運転・保守を行った事からこの過程での事業の実現を妨げる技術的な問題・課題は、「ない」と推定される。

但し、今回の実証は単機での実証であり、今後想定される「群設置」を目指しての量産を前提としての技術的課題への対処は必要である。

IX-2. 経済的実現性

ここでは、経済的な側面から事業の実現可能性を検証する。検証方法として、まずは、リユース品の確保について検証する。リユース後の工程設計は、第Ⅲ章で実証済みのため、次は、風車全体の制作コストを評価する。風車の性能は、やはり第Ⅳ章で実証結果が報告されているため、最後に風車全体のコストパフォーマンスを精査する事により経済的実現性の評価とする。

1 回収品の確保

今回対象としている「2世代プリウス」の2017年にオークション状況を図表 257に示す。

図表 257

2017年度 2世代プリウスオークション情報（2017年1月-12月累計）

	合計台数(台)	年式平均(年)	距離平均(万km)	応札額平均(万円)
札幌	671	19	16.1	21.3
東北	431	18	16.7	21.6
群馬	412	18	14.8	22.8
東京	3099	18	13.3	25.5
埼玉	320	18	12.6	24.4
横浜	1035	18	12.5	25.1
新潟	145	18	17.4	23.0
北陸	106	18	15.8	21.6
静岡	418	18	14.3	22.3
名古屋	1681	19	11.5	29.6
R名古屋	644	17	16.2	17.6
大阪	523	19	14.6	23.5
神戸	133	19	15.1	24.8
岡山	274	18	18.0	21.7
福岡	244	18	15.5	22.1
九州	965	18	16.8	22.6
平均	694	18	15.1	23.1
合計	11101			

参考までに昨年度報告した、2016年情報について図表 258で示す。

図表 258

2016年度2世代プリウスオークション情報（2016年4月-9月累計）

	合計台数(台)	年式平均(年)	距離平均(万km)	応札額平均(万円)
札幌	199	18	16.2	25.4
東北	128	18	16.7	24.8
群馬	143	18	14.3	25.9
東京	934	18	13.5	28.6
埼玉	89	18	12.1	27.3
横浜	316	18	12.4	28.7
新潟	41	18	15.5	27.6
北陸	33	22	16.9	24.6
静岡	144	18	12.9	26.6
名古屋	623	19	11.6	32.4
R名古屋	134	17	16.4	22.9
大阪	151	18	15.0	26.0
神戸	39	18	14.6	27.3
岡山	70	18	20.6	24.7
福岡	71	18	16.5	27.0
九州	300	18	16.6	26.6
平均	213	18	15.1	26.7
合計	3415			

図表 257と図表 258から明らかなように、2世代プリウスのオークション価格は、年間平均で5－10万円値下がりしており、出品台数は、増加している。値下がりの要因のひとつに、第Ⅴ章でも言及した、モンゴルにおける高年式環境車への輸入税優遇措置の変更があげられる。この事実より、回収リユース事業の一番の要である、「そもそもの回収」についての機会は十分にあり、さらに経済的にも優位に進んでいる事が確認できた。さらに、第Ⅴ章で記載した、今後の海外での回収の可能性も合わせれば、回収における経済的実現性については、問題ないと考察される。

2 風車製作コスト

VII章で示した、風車製作へ向けてのサプライチェーン、及び、SE活動により風車製作コストについては、図表 259が現在の見通しである。

図表 259 全体コスト

単位:万円

	プロト機#1	プロト機#2	現状見通し	量産開始時	量産時目標
・HVユニット ・増速機	301	160	95	102	86
・アルミ翼 ・ストラッド	247	107	69	62	62
・ロータ軸 ・支柱 ・駆動軸 ・ブラケット	289	170	116	111	84
・基礎、架台	427	400	155	130	100
・PCU/含HVユニット	320	40			
・ブレーキ	121	25	28	30	24
・ベアリング	37	10	27	27	24
・カップリング	41	28	26	25	25
・SSR ・制御盤	224	120	50	55	55
・パワコン	0	66	16	40	30
・風速計	10	6	5	4	4
・組立/現地施工	501	110	73	88	43
合計	2,518	1,242	660	673	537

本年の成果の一つとして、コスト削減結果が、目標（673万円/基）に対して、102%達成の660万円/基となったことである。さらに、第VI章で最終決定した新風車デザインには、新たなコストダウンの材料が現在判明しているだけでも次の通り含んでいる。

- ・ 5m翼の一体成型（従来は、2枚翼の連結）
- ・ ストラット本数減少（全体12本から9本へ）
- ・ 外筒長さ短縮、ストラット取り付け部も減少により関連部品コスト減
- ・ HVユニットとデフを連結するCVJを止めてリジットに結合
- ・ HVユニット、デフ間の距離短縮により天板位置変更によるコンクリー架台コスト減
- ・ パワコン台数減（2台から1台へ）

今後更なる上記SE活動を通じて、全体コストを600万円/基以下まで低減する可能性も十分あると推定され、風車製作コスト面において経済的実現に支障が出る事はないと判断する。

3 風車性能

第VI章でも言及した通り委、本実証を通じて、最適アルゴリズムを開発し実機による実証を通じて、昨年度机上で検討し目標とした年間発電量20,000kWhから6%高い、21,230kWhの風車性能を達成した。これは、あくまでも単機での性能評価であるが、図表260に示す通り、今回実証している「縦型風車」のみの特徴として、群設置による風車間のシナジー効果により性能がさらにアップする可能性を秘めている。

図表 260 群設置の実証シーン



出所) スタンフォード大学 JOHN O. DABIRI 教授

通常の水平型風車では、風車間の干渉による性能ダウンを防ぐために、風車翼径の3倍は最低風車間の距離を離す設置方法を用いる。今回の縦型風車の場合は、例えば、2基設置する場合、風車間の距離を風車半径の2分の1まで縮めて双方逆回転で運転すると、シナジー効果で双方の性能がアップする事が、CFD解析でも確認されており、これは既に水力発電では実施されている。これを群設置として複数基設置した場合の最適配置について、図表260の通り、米国でも実証中であるが、新デザインにて是非今後シミュレーションをしていきたいと思う。これは、経済性の観点からは、土地の有効利用にも繋がる。いずれにしても、小型風車の性能としては、十分であり、性能面からの事業実現阻害要因はないと考察する。

4 風車のコストパフォーマンス

事業性について総合的検討したサマリーを図表 261で提示する。

図表 261 事業性検討サマリー

<事業性検討サマリー>

- 前提条件■ 新風車デザイン 定格10KW(6.5m × 7.5m 3枚翼)
年間発電量18,800(kWh) × 5(基) × 20(年)
= 1,880,000kWh
- 設置条件■ 5基群設置により低圧連系範囲(50KW以下)
- 設置コスト■ 660万円 × 5基 = 3,300万円
- 20年メンテナンスコスト■ 250万円 / 5基

▼20年平均電気コスト

Case1

補助金なし: 18.88円/kWh

一般家庭平均電気代と同等。長期的な電気代の値上がりとグリーン電力証書の売却益(4-5円/kWh)も期待される事から積極的に収益を求めない環境志向の企業での採用が期待できる。

Case2

1/3設備補助: 13.03円/kWh

一般企業での平均電気代と同等。ケース1同様、コスト低減策もあり、企業、投資家での利用が期待できる。

Case3

2/3設備補助: 7.18円/kWh

十分にコスト競争力があり、普及が進むと期待される。

VII-2. の「FITに依存しないビジネス」の検討を受けて、本事業で実証している小型風車設備を事業者（一般家庭、個人投資家、一般企業対象）が導入する際の風車耐用年数である20年間の電気コストのケーススタディとして検証した。

結果全てのケースにて立場や考え方を超えて十分に経済的合理性が成り立つ事が確認された。

今回のケーススタディは、本章2の更なるコスト低減効果や、3の群設置による性能アップ効果を含んでおらず、更なる精査・実証により、本事業の経済的実現性が、より強固なものとなると思われる。

IX-3. 環境適合性

V-8. にて、本実証の対象となる小型風車の騒音試験を行い、環境への影響がない事を実測で確認したが、騒音以外でも図表 262に表した小型風車と大型風車との比較において実機にて確認した。

図表 262 大型・小型環境適合性比較

大型風力		小型風力	
×	山間部は輸送路に制限	○	既存の道路を活用
×	送電線の敷設が必要	○	既存の送電線に連系
×	騒音問題がある	○	騒音問題なし
×	バードストライクがある	○	バードストライク発生せず
×	環境影響調査が必要	○	不要(7,500kW 以下)
×	輸送時に交通への影響大	○	影響なし
×	景観への影響がある	○	影響なし
×	電波障害の可能性ある	○	可能性なし
×	環境影響調査に時間がかかる(3~4年)	○	不要(7,500kW 以下)
×	許認可取得に時間がかかる(1~2年)	○	許認可は不要

尚、環境への適合性に観点からさらに深堀すると以下の課題が浮かび上がり、今後の課題となる。

- ・ 風車運用中の定期交換部品（例：電池）の交換後のリサイクル方法
- ・ 風車解体後の全部品のリサイクル方法

特に、将来の海外での販売も視野に入れると、上記については、可能な限りコンパクトな地産地消型のリサイクル方法の開発は、必要と考える。

IX-4. 市場規模と回収対象発生量との妥当性

1 市場規模

ここでは、VII-2. で言及した「FITに依存しないビジネス」での市場ポテンシャルについて今後の課題も合わせて検討する。

検討の対象を第Ⅷ章中の図表14で示した、事業区分に沿って行う。

1-1 第1号事業：公的機関・団体による再エネ設備導入

震災以降、各地方自治体による非常電源の確保取り組み、地産地消型の独立分散型電源の開発促進、さらに再生可能エネルギーへのニーズを受けて市町村による水力、風力、バイオマス等の小型再生エネ発電所の建設意欲が高まっている。体系的にこれらを支援する組織も立ち上がっており、現在は、20程度しかない「自治体電力」が今後急速に増加する可能性がある。再エネ先進国であるドイツでは、これらの地域新電力会社が、1千社程度あり、該国電力シェアの6割程度を握るとされている。日本でも最低各都道府県に1社は近い将来に新設されると想定される。参考までに、図表 263にて東北地方における取組や、図表 264にて現在の地域新電力について示す。

図表 263 東北地方における地域新電力関連構想と取組の狙い

地方公共団体		構想	狙い
青森県	弘前市	弘前スマートシティ構想	エネルギーセキュリティ向上、まちの魅力づくり、市民生活の質の向上
岩手県	宮古市	宮古市スマートコミュニティ推進協議会	震災復興、地域産業創出
	釜石市	スマートコミュニティコンソーシアム	震災復興、地域産業創出、エネルギーセキュリティ向上
秋田県	秋田県	エネルギー産業戦略	地域投資誘発、産業育成
	秋田市	あきたスマートシティ・プロジェクト	地球温暖化対策、地域経済活性化
山形県	山形県	やまがた新電力	再エネ促進、地域経済活性化
福島県	福島県	福島県スマートコミュニティ推進検討会	再エネ促進、新たなまちづくり
新潟県	長岡市	アオーレ長岡等の構想	新産業創出、雇用確保、防災機能の向上

図表 264 主な地域新電力の事業推進体制

地域新電力	外部事業者	業種	外部事業者の狙い	外部事業者が担う役割
中之条パワー	V-Power	小売電気事業者	- 顧客囲い込み - 需給調整業務受託 - 新電力設備導入及び運営・管理 - 既存の課金システムを活用した拡販	- 需給調整業務 - バランシンググループ - 顧客獲得 - 需要家設備導入～運営・管理
みやまスマートエネルギー	エプロ	機器サプライヤ	- コンサルティング、エネルギー・マネジメント・システム/課金システム導入 - 業務代行 - 地域インフラストラクチャービッグデータ管理・活用	- エネルギー・マネジメント・システム/課金システム - インフラストラクチャー・データ管理
とっとり市民電力	鳥取ガス	地場ガス	- コジェネレーション等ガス利用促進 - 新規顧客獲得	- ガス供給 - 地域熱供給事業（ガス・電気セット販売）
やまがた新電力	NTTファシリティーズ	設備事業者	- 電源開発～設計 - 電源資材調達 - 電源の保守・リニューアル - 需給調整業務受託 - 設備導入及び運営・管理 - 既存の課金システムを活用した拡販	- 分散電源開発～運営・管理 - 需給調整業務 - バランシンググループ - 顧客獲得 - 需要家設備導入～運営・管理
東京エコサービス	東京ガス	(地場)ガス	- コジェネレーション等ガス利用促進 - 新規顧客獲得	- ガス供給 - 地域熱供給事業（ガス・電気セット販売）

1-2 第4号事業:オフグリッド型離島への再エネ設備導入

VII. 章の図表 204、図表 205で九州エリアでの離島についての導入ポテンシャルを検証した。さらに、図表 174にて九州エリアの離島での発電コストについて30.8円/kWhと明示している。

本章での経済的実現性でも検証した通り、この第4号事業を使って3分の2設備導入時補助を得る（Case3）と、発電コストは、7.18円/kWhとなり現在のコストに対して圧倒的に優位である。さらに、グリーン電力証書や非化石証書の売却益が加わる仕組みを利用すれば、現在80あるオフグリッド型離島（図表 265）での普及が、加速度的に進むと推定される。今後具体的に取り組んで行くための風況調査やニーズの確認を通じて、アクションプランを作成していく必要がある。

図表 265 国内オフグリッド型離島

日本国内の約80のオフグリッド離島。なお、中部電力、関西電力、四国電力管内にはオフグリッドの離島は存在しない（有線接続している）。

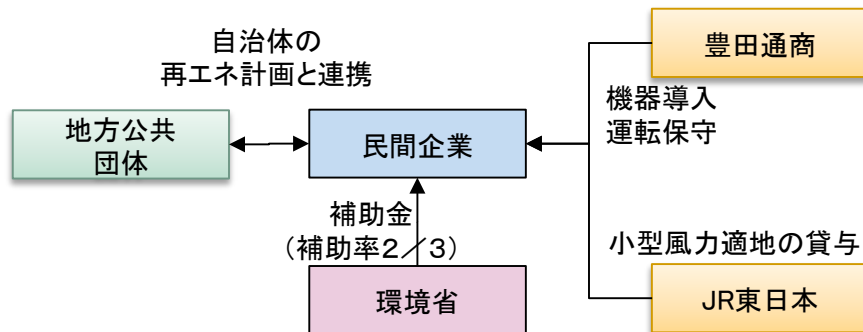
■北海道電力 - 礼文島、利尻島、天売島、焼尻島、奥尻島 ■東北電力 - 山形県 - 飛島 - 新潟県 - 佐渡島 ■北陸電力 - 石川県 - 船倉島 ■東京電力 - 東京都 - 大島、利島、新島、式根島、神津島、三宅島、御蔵島、八丈島、青ヶ島、父島、母島 ■中国電力 - 島根県 - 島後、中ノ島、西ノ島、知夫里島 - 山口県 - 見島	■九州電力 - 福岡県 - 小呂島 - 長崎県 - 対馬島、海栗島、泊島、赤島、沖ノ島、島山島、荻岐島、若宮島、原島、長島、大島 - 鹿児島県 - 上甕島、中甕島、下甕島、竹島、硫黄島、黒島、口之島、中之島、平島、諏訪之瀬島、悪石島、小宝島、宝島、種子島、屋久島、口永良部島、奄美大島、喜界島、加計呂麻島、与路島、請島、徳之島、沖永良部島、与論島 ■沖縄電力 - 粟国島、渡名喜島、久米島、奥武島、オーハ島、北大東島、南大東島、宮古島、池間島、大神島、来間島、伊良部島、下地島、多良間島、水納島、石垣島、竹富島、西表島、鳩間島、由布島、小浜島、黒島、新城島(上地)、新城島(下地)、波照間島、与那国島
--	---

1-3 第6号事業:民間企業の再エネ設備導入

第6号案件については、既に、VII-2. にて詳細に想定されビジネスプラン (図表 266) も明示しながら検証したためここでの重複避けるが、JRだけでも図表 163に示す通り、約1500基の導入が可能である。

もちろん、トヨタグループ等、環境対応意識の高い企業での設備導入も十分期待できる。

図表 266 第6号事業ビジネスプラン



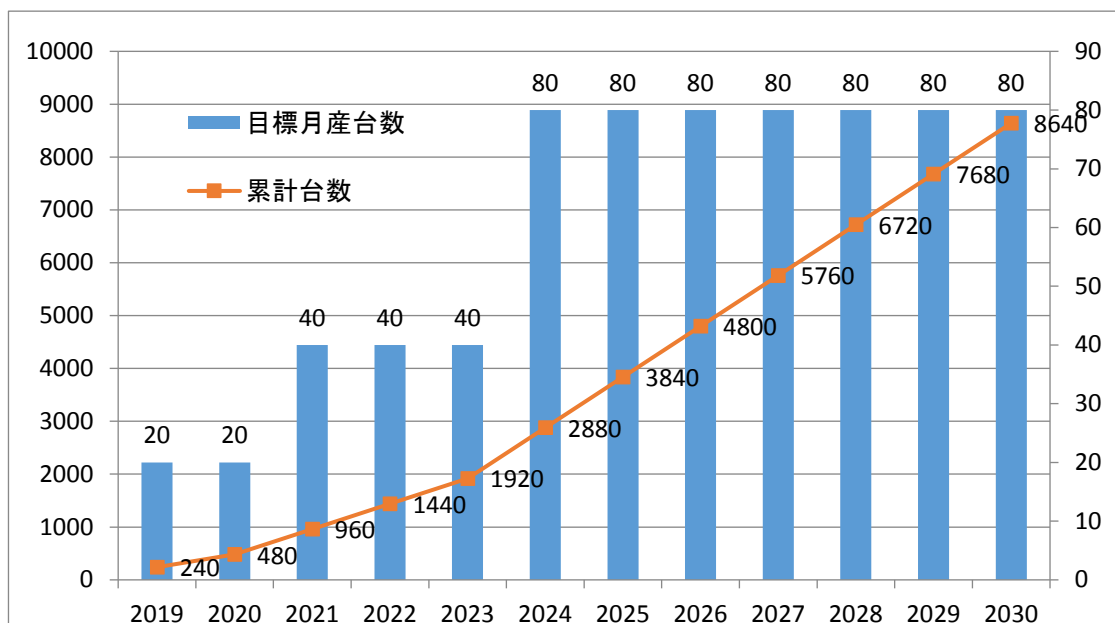
2. 回収対象の発生量

IX-2. 図表 257で2世代プリウスのオークション出品台数を示した。これは、全国展開しているオークション業者大手の（株）USSから情報であるが、他のオークションでの売買や事故車、ディーラー扱い車等を含めると月1000台以上は、発生している事になり、回収対象の確保に十分な発生量はある事が判明した。

3. 事業規模とその妥当性

事業規模を図表 267で示す通り、事業開始から5年以内で40基/月、10年後には、80基/月と設した。これは、III-1. で示した「回収後のリユース工程設計」2ユニット/2人・日、及び、VI-2. での量産サプライチェーン、更にVI-3. での量産効果によるコスト低減効果、本章での市場規模と回収対象発生量から、十分実現可能で妥当性のある事業規模である。

図表 267 量産の時期と目標台数及び累計台数



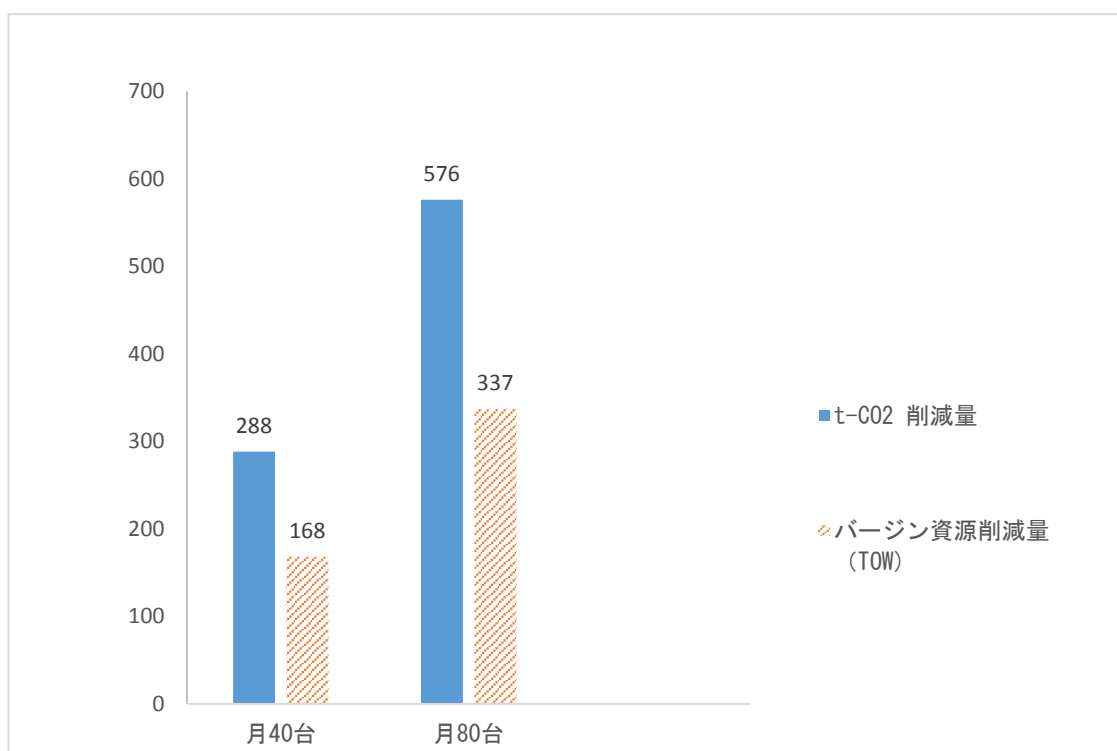
IX-5. 2030 年までの事業全体での環境負荷低減効果

IX-4. で事業化した場合の回収対象と市場規模の妥当性について検証した事を踏まえて量産化時①月40台、②月80台の2つのケースにてVIで検証した環境負荷低減効果を直接効果（図表 268）と間接（波及）効果（図表 269）それぞれ事業規模全体、累積にて評価を実施した。

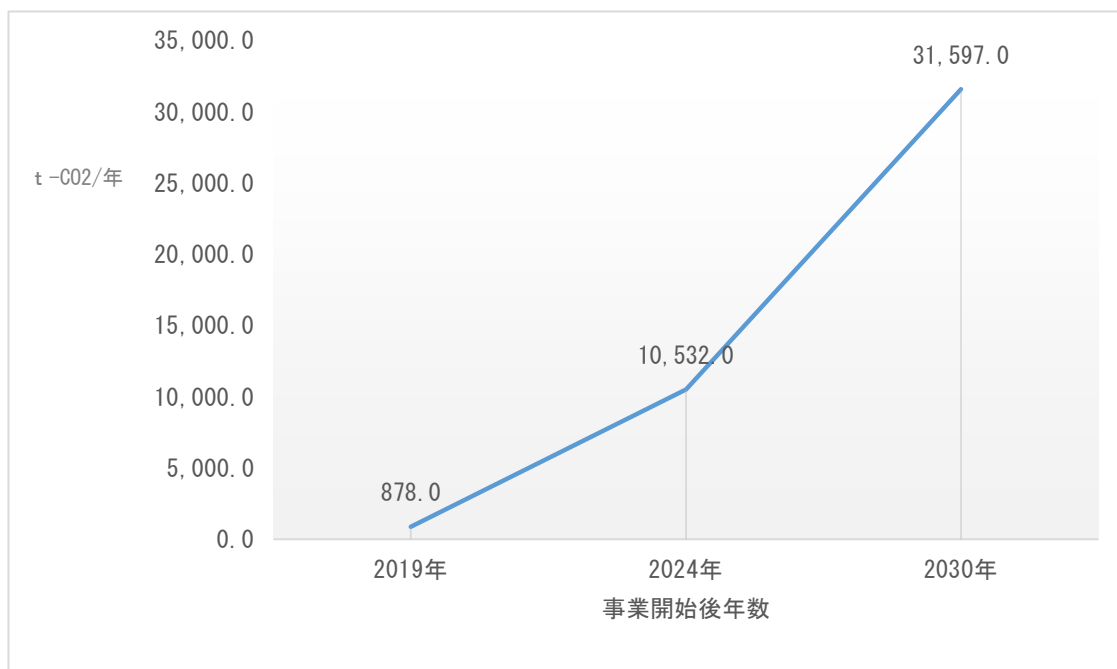
直接効果については、VI-1及びIV-2で示した、1台あたりの削減効果を基に上記月間台数から年間へ換算した。（例：t-CO2削減量②月80台の場合… $0.60 \times 80 \times 12 = 576$ ）

間接効果については、VI-3で示した、1台あたりの効果を基にやはり①，②とも年間換算し、更にその累積とした。（例：月20台の場合の1年目… $57.15 \div 20 \times 20 \times 12 = 686$ ）

図表 268 直接効果



図表 269 間接(波及)効果

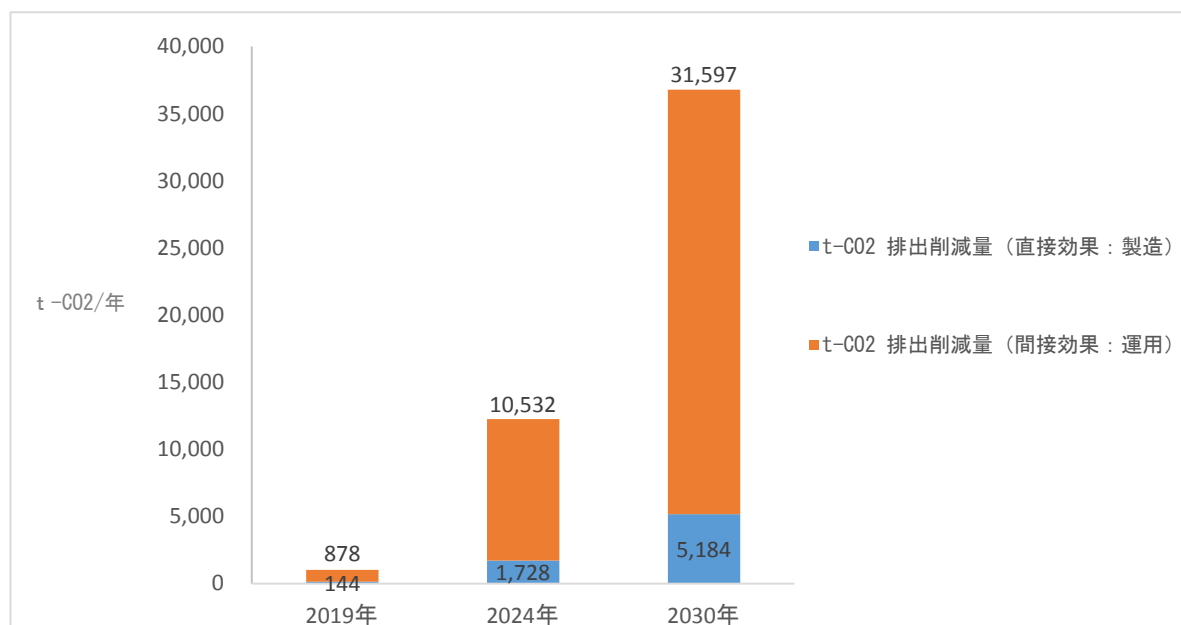


上記2表（図表 268, 図表 269）より、高い環境負荷低減効果が期待できることが判明した。特に波及効果については、風車は、一旦設置すると約20年運転を継続するため累積での削減効果が期待される事になる。

尚、この波及効果が表れる定性的な評価を次の通り考察した。

最後に直接、間接効果を図表 270、図表 269にて合算し、IX. 章で行った量産目標（図表 267）に沿って、今後の環境負荷低減効果をまとめてみた。

図表 270 2030年CO2削減効果見込み



X. 今後の見通し

本実証を通じて、「HVユニットをリマンした小型風力発電システムを事業化するための体制構築」に大きな進捗が見られた。特に「回収からリユース仕様への工程」については、事業化へ向けて準備が完了し、風車の実証についても実機にて当初の目標を上回る検証結果が得られ、サプライチェーンや遠隔監視システムも構築された。出口戦略でも、事業化へ向けてのビジネスモデル、事業スキーム、更には、HVユニットリユースモデルの横展ポテンシャルについても実証が行われ高い評価を得た。

今後については、大きく2分野に分けた取り組みが必要と思われる。

- i. 風車事業化へ向けての最終仕上げ
- ii. 風車以外への横展ポテンシャルの深堀

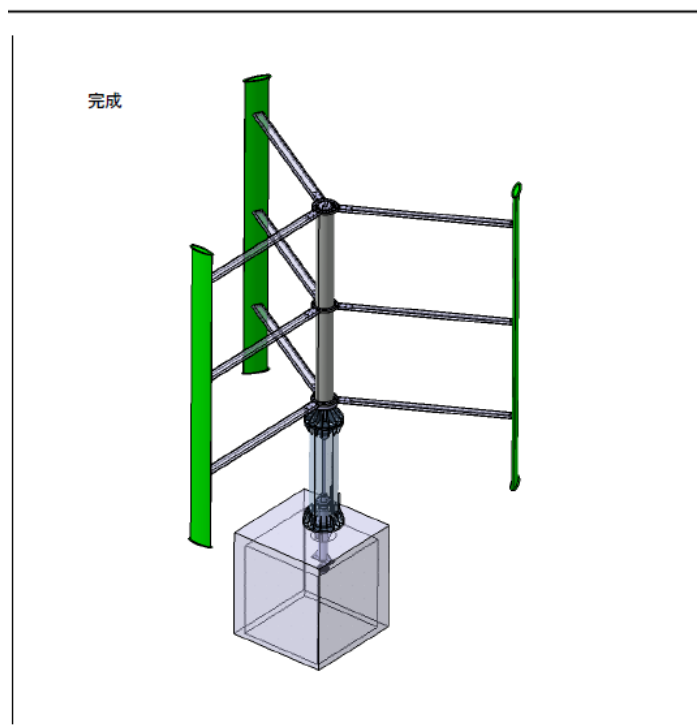
上記いずれも来年度中には、事業化体制構築完了し、再来年での事業化展開を目指す。以下、実施内容の詳細について記載する。

X-1. 風車事業化へ向けての最終仕上げ

1 新風車デザインによる群設置実証

図表 271は、新風車デザイン図表 145のパス図である。

図表 271 新風車デザイン



この新デザインの風車について本事業で行ったと同様のコストパフォーマンス評価を先ず行う必要がある。机上でのシミュレーションと実機を利用した実測により検証をする。

平行してこの新デザインの風車を群設置する場合に、その性能を最大にする設置方法を精査するために学術的な解析を行う。又、小型模型を使つてのシミュレーションをする事によりさらなる検証を行う。これによって、ウインドファームとしての全体発電システムのブラッシュアップを行い、事業化へ向けての仕上げを行う。

1-1 販売体制確立

本事業VII-2で提案された「FITに依存しないビジネスモデル」において、特に「再生可能エネルギー電気・熱自立的普及促進事業」第1号案件：公的機関、団体による再エネ導入、及び、第4号案件：オフグリッド型離島への再エネ導入に関して、それぞれ綿密な顧客探索が必要である。

探索にあたっては、図表 272を念頭にした取り組みを行っていく。

図表 272 事業イメージ



出所) 環境省

又、やはりVII-2. 図表 205で示した、離島についても、その面積、人口、風況、電源等の調査を行い小型風車導入の可能性について検証を行いたい。

1-2 保守・メンテ体制確立

本事業で構築した「遠隔監視システム」を運用して風車の「保守・メンテ体制」を構築する。実機を使った実証により、通常時の保守、異常時への対応等全てを「マニュアル化」して実際の作業を行う事により事業化に備えて行きたい。

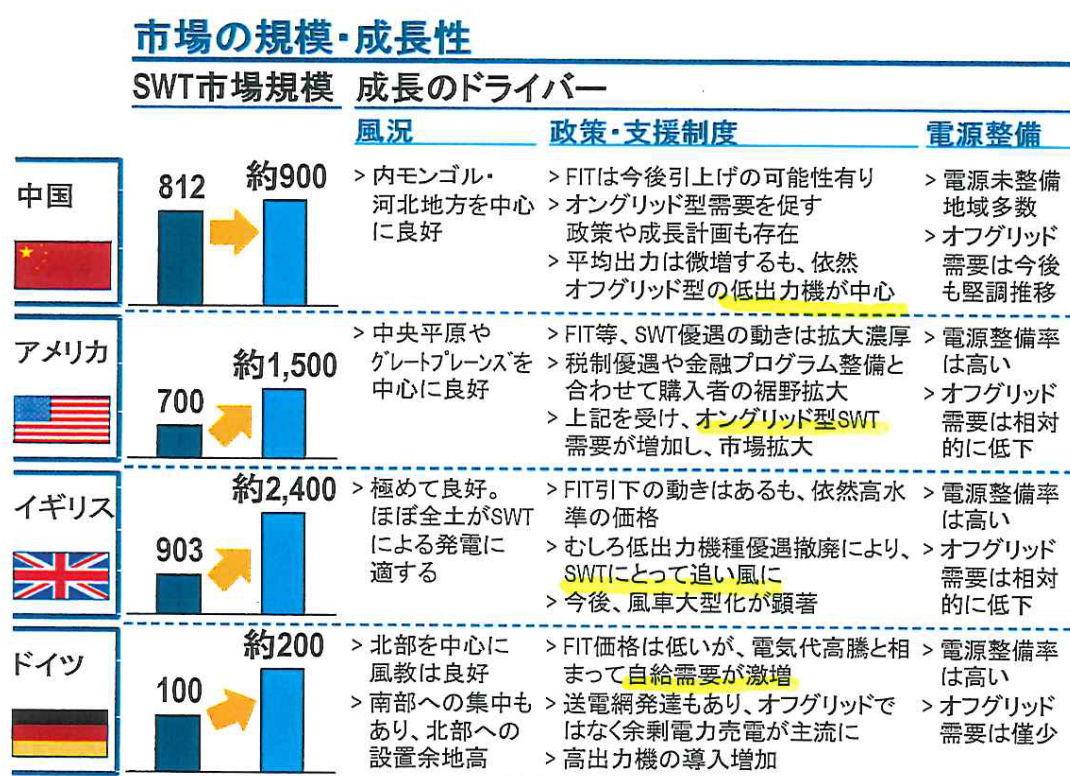
2 海外での HV ユニット回収仕組み作り

本事業第5章で記載した「海外での回収スキーム」について、本年度実証を行った米・モンゴルについては、それぞれ既に現地パートナー候補が決まっている。本年度は、回収スキームの仮説検証であったが、今後は、実際に回収の実証を行い「ビジネスモデルとしての検証」を行い事により、「海外回収事業スキーム」の構築を図りたい。

3 海外小型風車市場調査

図表 273でも示されている通り、小型風車は過去・現在とも海外でより普及しており将来の市場ポテンシャルも高い。

図表 273 主要国での小型風車（SWT）市場



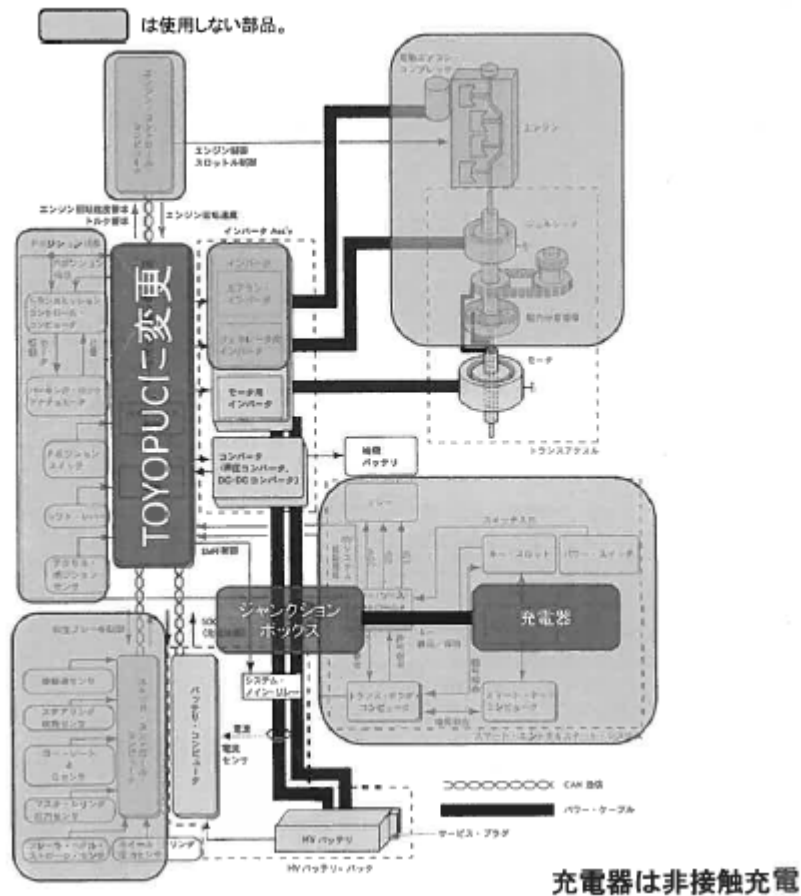
出所）関連文献より豊田通商にて抜粋

上記主要国以外でも電源が未整備で風況が良い、モンゴルやアルゼンチン等でも小型風車の普及チャンスは十分あると思われ、ターゲットを絞って調査を実施する。JICA産業開発公共政策部資源・エネルギー等へのヒアリングも実施したい。

X-2. 風車以外への横展ポテンシャル深堀

1 HV ユニット小型風力発電システム以外へのリユース用途別実証

図表 275 ゴーカートシステム



出所) 2 世代プリウス整備書より抜粋

図表 275から明らかなように風車で実証したHVユニットをリユースしてリマンした風車の全体システムの横展が確認できる。風車を制御する「TOYOPUC」を今回は、カート全体の制御に使用、風速計に該当する情報が、今回はアクセルやブレーキからの信号で、これらを受けて「TOYOPUC」が本来HVユニット全体を制御するHV-ECUへ働き掛けを行う。「力行：電池を使って走行」「回生：走行中に充電」といったHVのシステムを有効に活用した環境に優しく、コスト競争力がある「ゴルフカート」が実現するものと期待される。

同時に、やはり風車向けに今回構築した「遠隔監視システム」を横展した「カート監視システム」もそのまま利用可能である。例えばゴルフ場マスター室から各カートの運転状況バッテリー残容量等をモニタリング、異常時の遠隔での作動、停止等もコントロールできる。

ゴルフカートは、日本だけでも年間約1万台需要があり、昨今、自動車と同じくEV化が強く求められており、既に、約2万台の既存のガソリンカートのEV化の具体的な

検討依頼もあり、机上でのシステム検討、実機での検証を通じて、事業化へ向けた体制構築を比較的短期で行へるように取り組みたい。

この取り組みは、EV車でも最先端である「非接触充電」、「IoT：全てのカートがつながる」、「AI：カートが学習して、自動で動く」等にもつながって行く大変新規性の高い試みである。

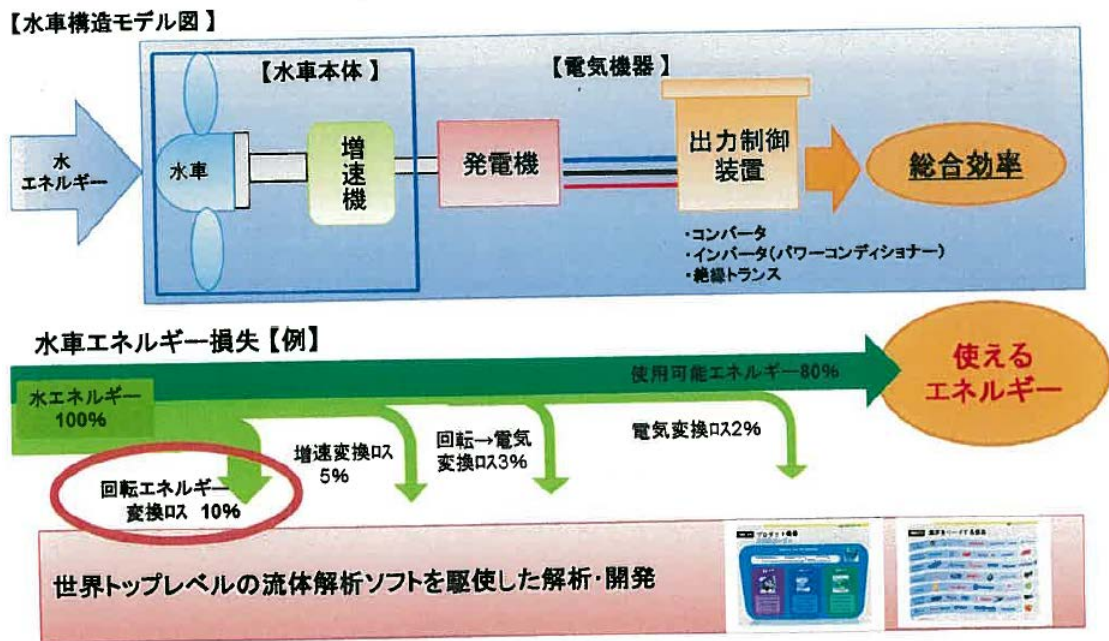
1-2 発電システム分野

① 小水力発電システム

日本には、用水路が、約40万キロある。これは、VII-1. で検討した海岸線距離の10倍以上である。近年市町村の土地改良区中心にこの用水路を利用した小水力発電の取り組みが活発になっている。

図表 276にて「水力発電システムの基本モデル」を示す。

図表 276 システム製造・販売事業(研究・開発)



出所) 関連文献より豊田通商にて抜粋

この基本モデルから明らかなように増速機、発電機、出力制御装置といった基本構造は風車も水車も同じであり、本事業で実証したHVユニットをリユースして風車をリマンした仕組みの横展が十分可能である。

第Ⅷ章3項にて水車への応用について「今後の検討課題」として次の4点が指摘された。

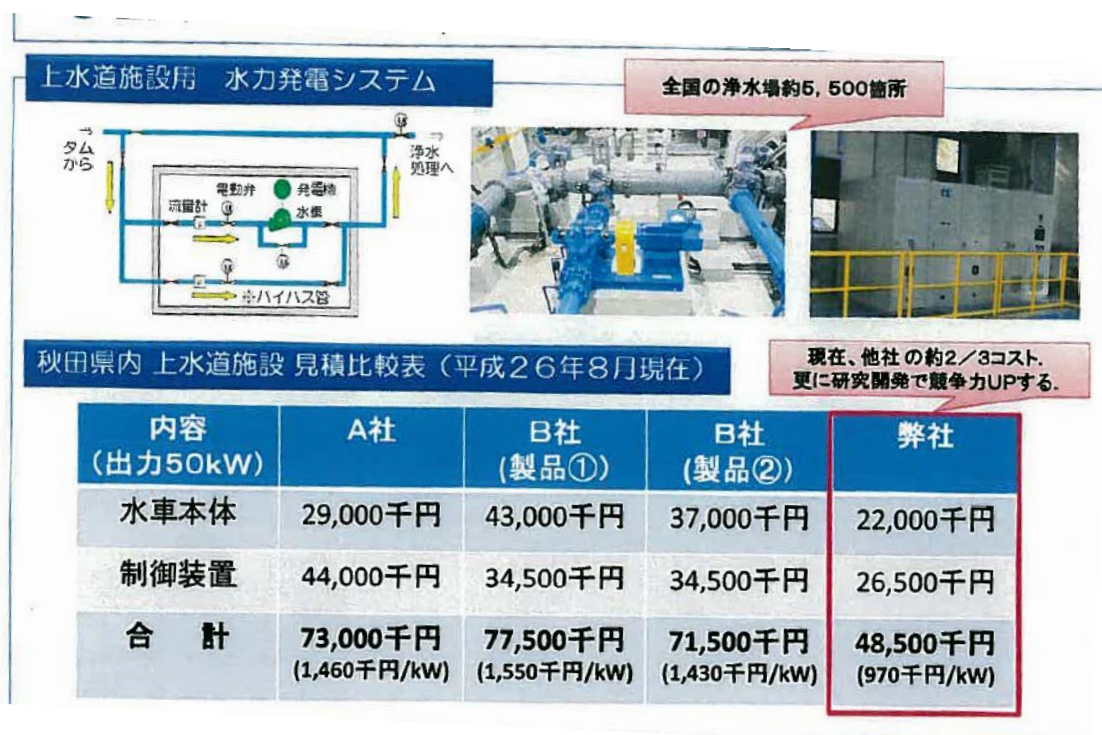
- (ア) HVユニットの防水性
- (イ) 野外使用の可否
- (ウ) 水車の回転速度と発電機仕様のマッチング
- (エ) 発電機の耐用性の確認

上記の内、防水性、野外使用については、そもそも自動車仕様であるため問題なく、水車回転速度についても、風車回転速度（0-100 r p m）とほぼ同じである事がその後の水車メーカーとのヒアリングで確認済みであり、万が一アンマッチが生じても、図表 276で示した増速機でのギア比を変えれば解決する事も分かった。風車で使用する増速機は、日野自動車製ギア比6.4を使っているが、該社だけでもギア比は、3.0-9.0まで幅広く製品のラインナップがあるため最適な選択が可能であり、もちろん、コストや性能への影響は軽微である。

最後の発電機の耐用性については、IX-1. で検証したベアリング評価、潤滑油評価がやはりそのまま当てはまり、水車として要求される耐用年数に合わせてたベアリングの選定、潤滑油管理を行う事により解決する問題であると考えている。もちろん、具体的な事例による机上検討と実機での実証は必要であり、今後行っていきたい。

日本で小水力発電の普及が進まない最大の問題は、導入時のコスト高である。これも本事業で取り組んだ小型風車と事情はほぼ同じである。例として、図表 277に事例として、小水力導入時のコスト（見積もり段階）を示している。

図表 277 システム製造・販売事業(研究・開発)



出所) 関連文献より豊田通商にて抜粋

図表 277から導入コストは、150万円/KWとなっており、その内の約50%が水車本体ではない、制御装置である。本事業で取り組んだリユース品の活用やSE活動により、概算だが、制御装置のコストは、3分の1以下には十分下がる可能性がある。

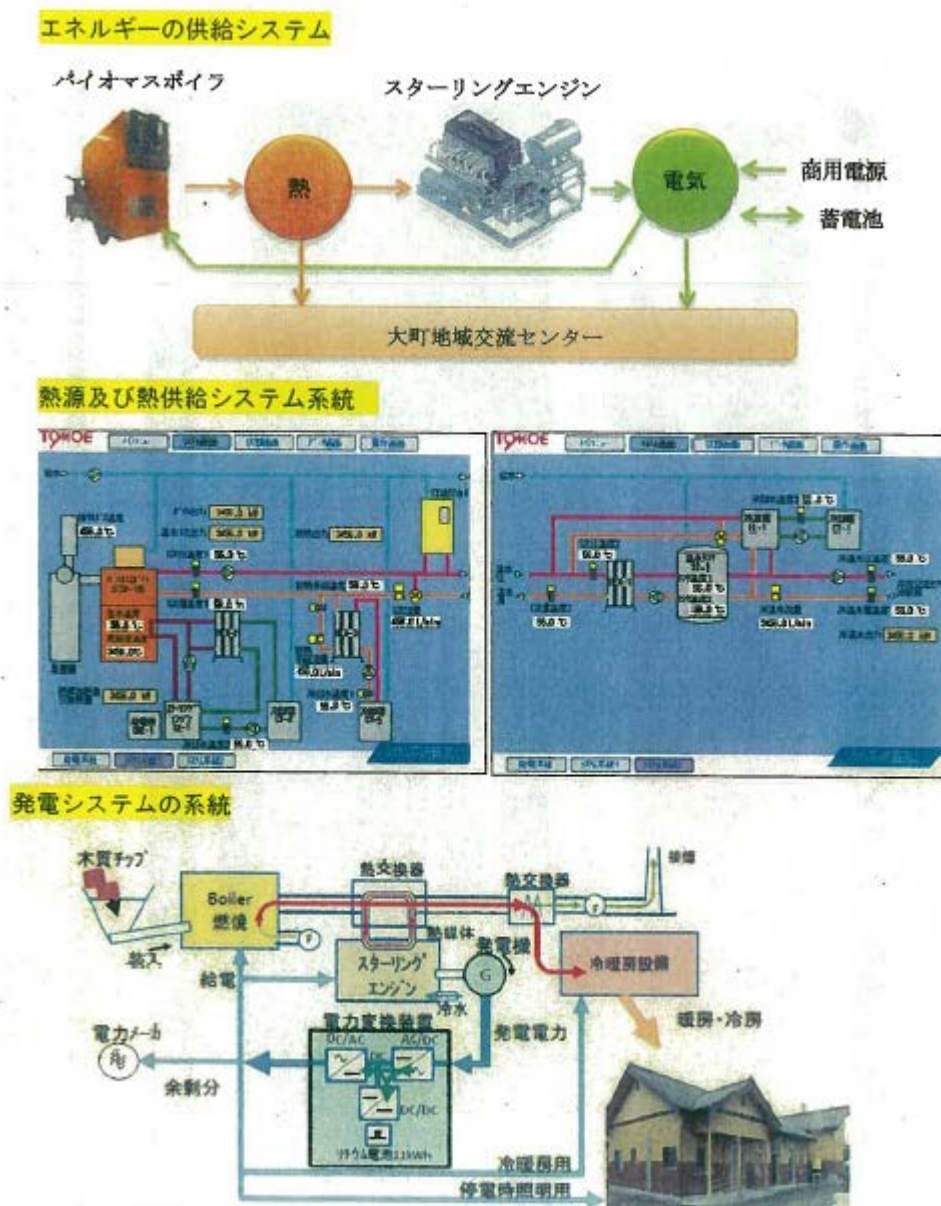
もちろん、本事業で検証した通り、HVユニットは大変効率の高い発電機となるので、性能の向上も同時に期待できる。これを実際の事例を通じて今後実証して行きたい。

既に、出来上がった水力発電システムに対する発電+制御ユニットの代替となるため、比較的短期間での実証による事業化も可能であると考察する。

② 木質バイオマス発電システム

図表 278は、一般的な木質チップを原料とした、バイオマス発電の全体システム構成を示す。

図表 278 木質バイオマス発電システム 全体構成

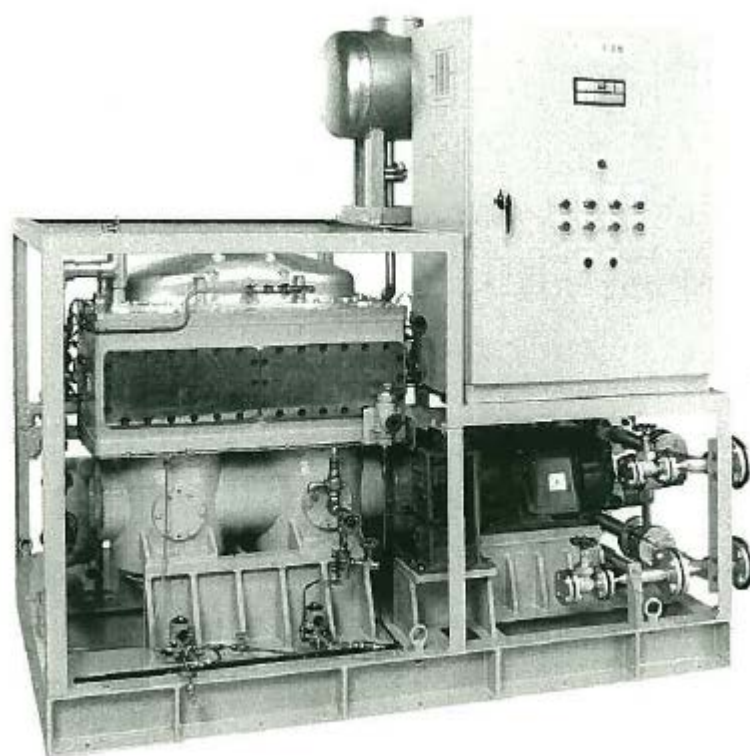


出所) 関連文献より豊田通商にて抜粋

図表 278中の中心にあるスターリングエンジンから右の発電機及びその下の電力変換装置までが、本事業で行った「HVユニットをリユースしてリマンした小型風車」の横展可能な部分である。小水力と比較して「増速機」がないので、システムはよりシンプルになる。

図表 279が、上記システムで現状使われているエンジン＋発電＋制御ユニットである。この右部の発電＋制御をリユース品で横展する試みを行いたい。

図表 279 熱媒システム、制御盤を含むAP2-10/300エンジンユニット



出所) 関連文献より豊田通商にて抜粋

小水力で言及した通り、バイオマス発電でも普及のネックは、導入コストである。従って、リユース品の利用によるコスト低減、HVユニットを活用した性能アップにより、大規模な輸入チップに依存したバイオマス発電ではなく、地産地消型の小型バイオマスでも十分に採算が取れて、普及が進む可能性があると考ええる。

これをやはり、具体的な事例を対象に机上検討、実機での実証を通じて事業化へ向け取り組んで行きたい。小水力同様、既に、既存の出来上がったシステムがあるため、事業化への道のりが早いと思われる。

2 まとめ

本事業で取り組んだ「HVユニットのシステム全体のリユース」による「新たな製品をリマン」するビジネスモデルを「標準化」する事が、最終的な「目指す姿」となる。

図表 280で、その「あるべき姿」を示した。リマン対象が何であっても、図表 280左上の通り、そもそも制御したい内容の「外部信号」をリユースシステム全体で制御する本事業で実証済みの「TOYOPUC」へ与えると、今回リユース用に改造した「HV-ECU」経由でHVシステム全体制御が可能となる。

この中心部をモジュール化すれば、今回提案した、ゴルフカート以外の様々な産業車両、或いは、工作機械、又、様々な発電システムへの横展を短期間、低コストで可能になる。このモジュール化は、もちろん、3世代プリウス、アクア等のHV車、今後増加するPHV車、EV車にも横展ができ経済的に、技術的に実現性のある「資源循環」の仕組み作りが完成する。

是非、この取り組みを継続したい。

図表 280 HVユニットリユース標準化モデル(案)

