

平成 31 年度省 CO2 型リサイクル等設備技術実証事業

**LiB スタビライザーの技術検証及び事業化検討事業
成果報告書**

令和 2 年 2 月

株式会社 野村総合研究所

要旨

本実証実験の背景・目的

本実証実験では、自動車業界が抱える「HV 用バッテリーの有効なリユース方法の探索」とエネルギー業界が抱える「太陽光発電システムの安価な PC の実現」の両方を解決する機器・事業を開発することを目的とした。具体的には、HV から回収したバッテリーをリユースすることで、“LIB スタビライザー”という太陽光発電システムにおける PCS と同様の機能を持つ機器を実現する。また、LIB スタビライザーと競合製品を比較した上で、経済性を担保することが出来る事業モデルを確立する。

本実証実験の概要

本実証実験では、LIB スタビライザーの技術検証と LIB スタビライザーの事業モデル検討の 2 つを進めた。技術検証では、太陽光発電システムの不安定な電流を安定させる機器として活用できるかどうかの検証や、安全性を保証した上で活用できるかどうかの検証などの基礎技術の開発を進めた。また、販売代理店やハウスメーカーに対して、LIB スタビライザーの仕様を伝えた上でニーズを確認することで、事業化に向けた今後の技術課題を明らかにした。

一方で、事業モデルの検討に関しては、LIB スタビライザーがターゲットとすべき市場の選定、ターゲット市場における市場規模の算出、市場環境変化の描出を実施した。そして、選定した市場において、誰に、何を、どのように販売するかを検討することで、事業モデルを立案した。最後に、立案した事業モデルの経済性を、競合製品価格と比較することで検証した。

実証結果と今後の課題

本実証実験では、基礎技術の開発として、ホンダのフィット HV バッテリーを用いた電力安定化の検証、安全性の検証、簡易診断方法の確立の 3 項目の実証実験を進めた。一つ目の電力安定化の検証に関しては課題を残すことなく検証することが出来た。二つ目の、安全性の検証に関しては、住宅用としては十分な出力で検証することが出来た一方で、低圧・C&I ルーフトップ用等で必要となる 10kW 以上での検証までは行うことが出来なかった。また、夏期での運転検証も残課題として残った。三つ目の簡易診断方法の検証に関しては、従来のセル単位での診断から、モジュール単位での診断が可能になった。これにより、診断スピードの向上、診断コストの削減を進めることが出来ると思料する。今後は、さらに効率的な診断であるパック単位での診断方法を確立することが課題となる。

一方で、本実証では事業化に向けた技術課題の抽出も進めた。販売代理店・ハウスメーカーへのヒアリングすることで技術課題を抽出した。計 10 社の販売代理店・ハウスメーカーと LIB スタビライザーの仕様に関してディスカッションすることが出来たため、事業化に向けて必要となる技術要件はおおよそ抽出できたと考えている。周波数調整機能の実装など、事業化に向けては技術開発が必須である一方で、解決方針を具体化できていない課題も多く、今後は、本実証実験で明らかになった技術課題の開発方針の検討を進めることが課題となる。

事業モデルの検討では、本事業においてターゲットとする市場を明確にした上で、対象市場にお

ける事業環境変化を整理するとともに、対象市場における市場規模を算出した。

本事業では参入障壁が他市場に比べて高くない点やエネルギービジネスの広がり大きい点より、住宅用向け×交換製品をターゲットとした。また、各種ヒアリングで得た、低価格化が進みつつあること、交換を担当する多くの事業者が撤退していること、等の情報を元に市場環境変化を整理した。また、市場規模の算出では、実態を反映した市場規模を算出することに留意した。実際の交換需要は、一般的に交換時期として言われている10年という時期よりも長く持つことが予想されたため、実際の交換を担当する販売代理店・ハウスメーカーへのアンケート調査を実施することで、実態を反映した交換需要予測を実施した。

そして、本事業における事業モデル・ロードマップを立案した。提供顧客、提供製品、提供プロセスの3つの観点から検討を進めた。提供顧客の観点では、直接最終諸費者へと販売、販売代理店経由で最終消費者へと販売、PVメーカー経由で最終消費者へと販売の3つのオプションを検討した上で、現在のサプライチェーンの構造の観点から、販売代理店経由で最終消費者へと販売するオプションを採用した。提供製品の観点では、LIBスタビライザーを単体で販売する、もしくは、LIBスタビライザーとストレージ用の蓄電池をセットで販売するオプションを検討した。既にニーズが顕在化しているため、LIBスタビライザーを単体で販売するオプションを採用した。提供プロセスの観点では、回収工程で回収コストを最小化するスキーム、製造工程で製造コストを最小化するスキーム、販売・保守/メンテナンス工程では、販売を促進するためのリース形式でのスキームを検討した。主な今後の課題としては、事業主体の具体化を進めるとともに、各事業者とのパートナーリング交渉を進めることであると考えている。

最後に、競合製品価格と比較することで事業性を検証した。競合製品の卸価格を販売代理店・ハウスメーカーへのアンケート調査で明らかにした上で、競合製品価格を設定した。その上で、各種データを参考に年間生産台数ごとのLIBスタビライザーの販売価格(=卸価格)を算出した。その結果、年間1万台(2025年度のPCS交換需要における8%程度)を販売できた場合、競合製品価格よりも安価に販売できる可能性があることが分かった。そして、上記分析結果を前提に、本製品の普及台数を試算した。

今後の課題は、技術検証に関しては、夏期での稼働検証、パック単位での診断方法の確立が挙げられる。また、ヒアリングで抽出した周波数調整機能の実装などの事業化に向けた技術課題の解決方針を検討する必要がある。一方で、事業モデルの検討では、事業主体の具体化、各事業者とのパートナーリング交渉、さらなるコスト削減方法の検討等が挙げられる。

SUMMARY

Background and purpose of this demonstration experiment

The purpose of this demonstration experiment was to develop equipment and business that solved both the "search for effective reuse processes of batteries for HV" held by the automobile industry and the "realization of an inexpensive PC for photovoltaic power generation system" held by the energy industry. Specifically, by reusing the battery recovered from the HV, a device having the same function as the PCS in the solar power generation system called "LIB stabilizer" is realized. In addition, a business model capable of ensuring economic efficiency will be established by comparing LIB stabilizers with competing products.

Outline of this demonstration experiment

In this demonstration experiment, two were advanced: technology verification of LIB stabilizer and business model examination of LIB stabilizer. In the technology verification, the development of basic technology such as the verification of whether or not it can be used as a device for stabilizing unstable current of a photovoltaic power generation system and the verification of whether or not it can be used after ensuring safety was promoted. In addition, by informing sales agents and house manufacturers of the specifications of LIB stabilizers and then confirming the needs, the future technical problems for commercialization are clarified.

On the other hand, regarding the examination of the business model, the following were carried out : Selection of the market to be targeted by the LIB stabilizer, calculation of the market size in the target market, and delineation of the market environment change. Then, the business model was formulated by examining who, what and how to sell in the selected market. Finally, the economics of the proposed business model were verified by comparing it with competing product prices.

Demonstration Results and Future Issues

In this demonstration experiment, as the development of the basic technology, three items of demonstration experiment were carried out: verification of the electric power stabilization using the fit HV battery of Honda, verification of the safety, and establishment of the simple diagnosis method. The first verification of power stabilization was possible without leaving any problems. Second, the safety was verified with sufficient power for residential use, but it was not verified at 10kW or higher, which is necessary for low-pressure, C&I rooftop, etc. Operation verification in summer also remained as a residual issue. Regarding the verification of the third simple diagnostic

method, it became possible to diagnose it on a module-by-module basis from the conventional diagnosis on a cell-by-cell basis. As a result, it is considered that it is possible to improve the diagnosis speed and reduce the diagnosis cost. In the future, it will be a problem to establish a diagnostic method for each pack, which is a more efficient diagnosis.

On the other hand, this demonstration also promoted the extraction of technical issues for commercialization. We identified technical issues by interviewing distributors and house manufacturers. As we were able to discuss the specifications of 10 distributors, house makers, and LIB stabilizers, we believe that we were able to extract the technical requirements required for commercialization. While technological development is essential for commercialization, such as the implementation of the frequency adjustment function, there are many issues that have not been solved in concrete terms. In the future, it will be necessary to proceed with the study of the development policy for the technical issues that have been clarified in this demonstration experiment.

In the study of the business model, the target market for this project was clarified, changes in the business environment in the target market were summarized, and the market size in the target market was calculated. Firstly, in this project, because the entry barriers are not higher than those in other markets, and because the energy business spreads greatly, the company has targeted products for residential use × replacement products. In addition, changes in the market environment were summarized based on information obtained through various hearings, such as the progress of price reduction and the withdrawal of many operators in charge of exchange.

In the calculation of the market size, it was noted that the market size reflecting the actual situation was calculated. Actual exchange demand was expected to last longer than the 10-year replacement period, which is generally referred to as the replacement period. Therefore, by conducting a questionnaire survey of sales agents and house manufacturers in charge of actual replacement, the replacement demand was projected to reflect the actual situation.

And, the business model roadmap in this project was formulated. The study was carried out from three perspectives of providing customer, providing product, and providing process. From the point of view of providing customers, the three options of selling directly to final consumptions, selling through distributors to final consumers, and selling through PV manufacturers to final consumers were examined. From the point of view of the structure of the current supply chain, the option of selling through distributors to final consumers was adopted. From the point of view of the offered product, the option to sell the LIB stabilizer alone or to sell the LIB stabilizer and storage battery in a set was examined. Since the need has already emerged, the option to

sell LIB stabilizers alone has been adopted. In terms of the delivery process, we considered a scheme to minimize recovery costs in the recovery process, a scheme to minimize production costs in the manufacturing process, and a scheme in the form of leases to promote sales in the sales, maintenance, and maintenance processes. We believe that the main challenges in the future will be to advance the concrete implementation of business entities and to advance partner-narrowing negotiations with each business operator.

Finally, we verified business viability by comparing it with competing product prices. First, the wholesale price of competing products was clarified by a questionnaire survey to distributors and house manufacturers, and then the price of competing products was set. Based on the data, the sales price (= wholesale price) of the LIB stabilizer for each production unit per year was calculated. As a result, it was proven that if 10,000 units (about 8% of PCS replacement demand in FY2025) could be sold annually, it could be sold at a lower price than the competitive product price. Based on the results of the above analysis, the number of vehicles in which this product has become popular was estimated.

Future problems include operation verification in summer and establishment of a diagnostic method for each pack in terms of technology verification. In addition, it is necessary to examine the solution policy of the technical problem for commercialization such as the implementation of the frequency adjustment function extracted in the hearing. On the other hand, in the examination of the business model, the materialization of the business entity, partnering negotiation with each business entity, and examination of further cost reduction method, etc. are mentioned.

目次

I.業務概要	9
1.背景と目的	9
2.業務の概要	10
3.業務の体制	17
4.スケジュール	18
II.事業の実施内容	19
1.事業の全体概要	19
2.LIB スタビライザーの技術検証	20
2-1.基礎技術の開発	20
2-1-1.基礎技術概要	20
2-1-2.電力安定化機能の検証	55
2-1-3.安全性の検証	57
2-1-4.簡易診断技術の確立	64
2-2.事業化に向けた技術開発	76
2-2-1.調査概要	76
2-2-2.事業化に向けた技術開発要件	77
2-2-3.デジタルインバータ技術の活用検討	79
3.LIB スタビライザーの事業モデル検討	88
3-1.市場性の検証	88
3-1-1.ターゲット市場の選定	88
3-1-2.市場規模の算出	93
3-1-3.事業環境変化の描出	95
3-2.事業モデル・ロードマップの立案	102
3-2-1.事業モデル・ロードマップの立案概要	102
3-2-2.本事業モデルにおける提供顧客の設計	102
3-2-3.事業モデルにおける提供製品の設計	102
3-2-4.本事業モデルにおける提供プロセスの設計	109
3-2-5.事業ロードマップの作成	113
3-3.事業性の評価	115
3-3-1.普及見通しの試算	115
3-3-2.価格比較による競争優位性の検討	121
4.事業化に向けた課題・対応策	122

5.環境影響.....	124
5-1.インベントリ・バウンダリの考え方.....	124
5-1-1.インベントリにおけるベースラインシナリオ.....	124
5-1-2.インベントリにおける比較対象となる本実証のシナリオ.....	125
5-2.CO2削減効果の試算.....	126
5-2-1.算出根拠.....	126
5-2-2.試算結果.....	128
6.事業化可能性の検討.....	130
6-1.他用途での販売可能性.....	130
6-1-1.他用途での販売可能性概要.....	130
6-1-2.直流給電×オフグリッド環境下での販売可能性.....	131
6-1-3.低圧/C&I ルーフトップ用向けでの販売可能性.....	133

I. 業務概要

1. 背景と目的

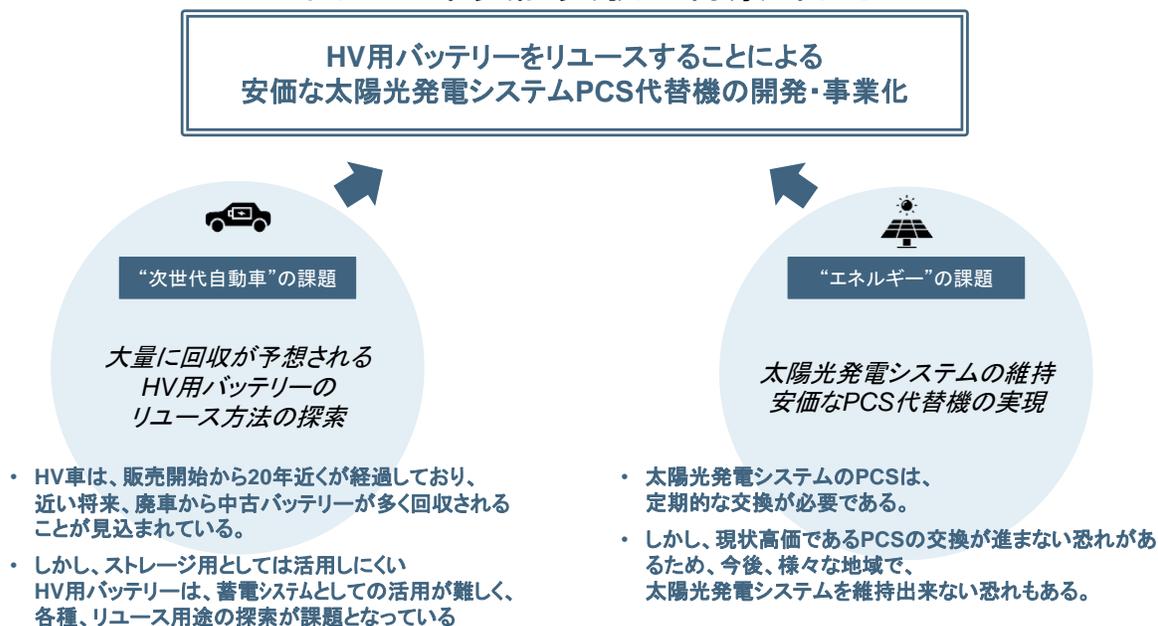
本実証実験における背景と目的に関して説明する。現在、内燃機関(エンジン)と電動機(モーター)を動力源として備えたハイブリッド車両(以下、HV)は、販売開始から約20年が経過しており、近い将来、廃車から中古バッテリーが多く回収されることが見込まれている。一方で、近年注目度が高まっている電気自動車(以下、EV 車両)はようやく普及が始まった段階であるため、廃車の回収が本格化するのはまだ先である。

しかし、多くの廃棄車両の回収が見込まれるHVには課題が存在している。HVのバッテリーは、EV車両のバッテリーとは異なり容量が小さいため、ストレージ用としては使い勝手が悪い。そのため、現在は付加価値の高いリユース用途が多くないため、数多くのバッテリーがリサイクル処理されてしまうのが現状である。今後、環境に配慮したエコシステムを構築するためには、HVから回収した中古バッテリーのリユース用途を探索する必要がある。

一方で、太陽光発電システム市場では、今後、太陽光発電システムを維持するために、整流や交流変換の役割を担うPCSの交換を進める必要がある。しかし、太陽光発電システムにおけるPCSは、現在では高価であることがボトルネックとなり、本来交換が必要な太陽光発電システムにおいても交換が進んでいないのが実態である。

そこで、本実証では、自動車業界が抱える「HV用バッテリーの有効なリユース方法の探索」とエネルギー業界が抱える「太陽光発電システムの安価なPCSの実現」の両方を解決する機器・事業を開発することを目的とした。具体的には、HVから回収したバッテリーをリユースすることで、“LIBスタビライザー”という太陽光発電システムにおけるPCSと同様の機能を持つ機器を実現する。また、LIBスタビライザーと競合製品を比較した上で、経済性を担保することが出来る事業モデルを確立する。

図 1-1. 本実証実験の背景・目的



2.業務の概要

本実証実験におけるタスク概要、実証実験場所、製品(LIB スタビライザー)に関して詳細を説明する。

タスク概要

本実証では、大きく2つのタスクを並行して進めた。主に技術開発を進める Task1.LIB スタビライザーの技術検証と、主に事業モデルの検討を進める Task2.LIB スタビライザーの事業モデル検討の2つである。

Task1.LIB スタビライザーの技術検証は、そもそも太陽光発電システムの電流を安定する機器として活用できるかどうかの検証や、安全性を保証した上で活用できるかどうかの検証などの基礎技術の開発を進める TASK1-1 と、販売代理店やハウスメーカーのニーズを確認することで、事業化に向けた技術開発項目を明らかにする TASK1-2 の両方を実施した。販売代理店やハウスメーカーに対して、LIB スタビライザーの仕様を伝えた上で、事業化する上で必要となるポイントなどをヒアリングした。一方で、TASK2 に関しては、TASK2-1 として、LIB スタビライザーがターゲットとすべき市場の選定、ターゲット市場における市場規模の算出、市場環境変化の描出を実施した。TASK2-2 として、選定した市場において、誰に、何を、どのように販売するかを検討することで、事業モデルを立案した。最後に、TASK2-3 として、TASK2-2 で立案した事業モデルの経済性を、競合製品価格と比較することで検証した。以下の図 2-1-1 に、本実証実験におけるタスクの全体像を示す。

図 2-1-1.本実証実験におけるタスク概要

実証概要	詳細
TASK1 LIBスタビライザーの技術検証	Task1-1 基礎技術の開発 <ul style="list-style-type: none"> ホンダフィットHVからバッテリーを回収した上で、スタビライザー用バッテリーとして使えるかどうかを技術検証 車載バッテリーの簡易劣化診断技術なども併せて確認
	Task1-2 事業化に向けた技術開発 <ul style="list-style-type: none"> 製品に対する 販売代理店・ハウスメーカーのヒアリング ニーズ反映に向けた技術開発方針の検討 デジタルインバータの技術開発、技術検討など
TASK2 LIBスタビライザーの事業モデル検討	Task2-1 市場性の評価・検証 <ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電システムにおけるPCS交換市場規模の算出 太陽光発電システムにおけるPCS交換を取り巻く市場環境の把握
	Task2-2 事業モデル・ロードマップの立案 <ul style="list-style-type: none"> LIBスタビライザーの事業拡大に向けて獲得すべき機能を明確化。(例: 大手太陽光パネル販売会社への販路確保、安価な設計・製造機能とメンテナンスサービス力を強化 など) その上で、事業モデル、事業ロードマップを描出
	Task2-3 事業性の評価・検証 <ul style="list-style-type: none"> Task2-2で立案した事業モデルにおける経済合理性を試算 その上で、回収・製造・販売における課題・今後の方向性を具体化

実証場所:実験住宅”ベクサス”

主に TASK1-1 を実施した実験住宅について説明する。本実証実験は、株式会社北洲(本社;宮城県富谷市成田 9-2-2)が保有するサステナブル実験住宅”ベクサス”において実施した。ベクサスは、環境負荷の低減と優良建築資産の蓄積を目的として 2006 年に竣工され、エネルギー消費量、室内熱環境、室内空気質等の実測・検証が行われ、国際会議(IAQVE2007)における成果発表や北洲のパッシブハウスの商品化にも活かされている。本実証ではベクサスに既設の PV パネル(約 3kW)を LiB スタビライザーに接続して直流安定化し、ベクサスの実際の負荷(LED 照明、TV、パソコン等 OA 機器)に対して直流給電、PV 発電が不足しバッテリー電圧が低下した場合には通常の交流給電に切り替えて、LiB スタビライザー電力システムの機能と安全性の検証を行った。

- 延床面積:約 85 坪
- 階数:地下 1 階、地上 2 階建
- 構造:木造(地下は RC)
- 竣工:2006 年 3 月

図 2-1-2.株式会社北洲 サステナブル実験住宅“ベクサス”外観



図 2-1-3.株式会社北洲 サステナブル実験住宅“ベクサス”内観



図 2-1-4.“ベクサス”1 階平面図

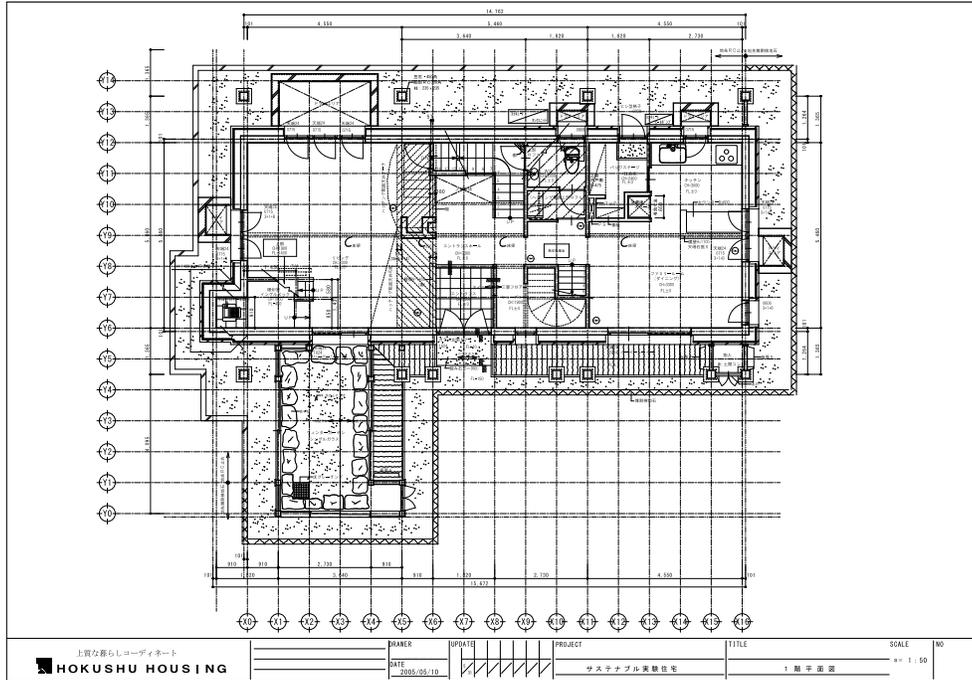


図 2-1-5.“ベクサス”2 階平面図

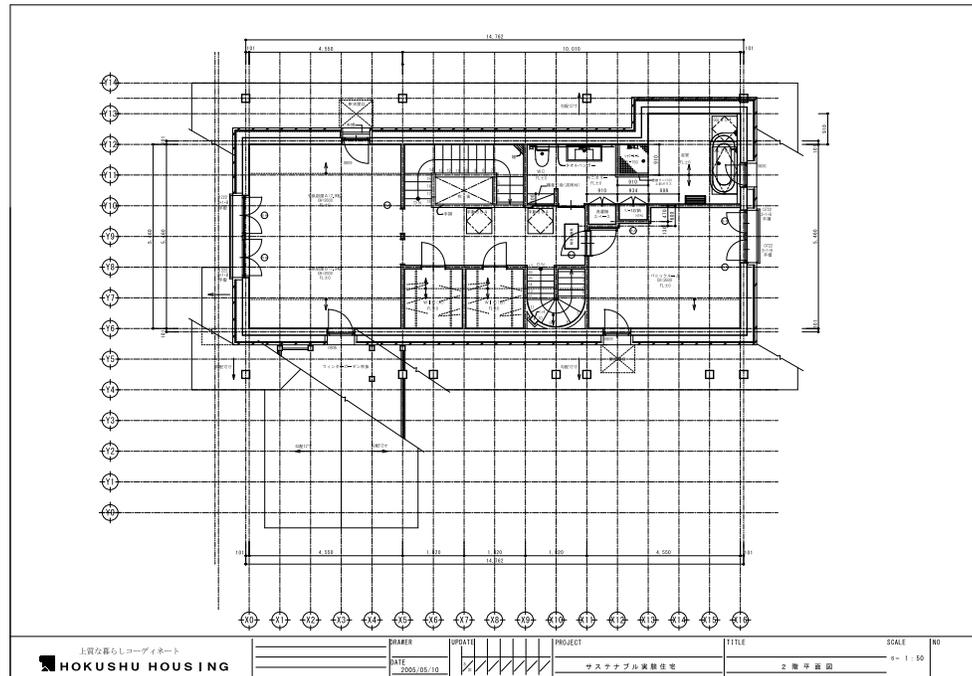


図 2-1-6. “ベクサス”地下平面図

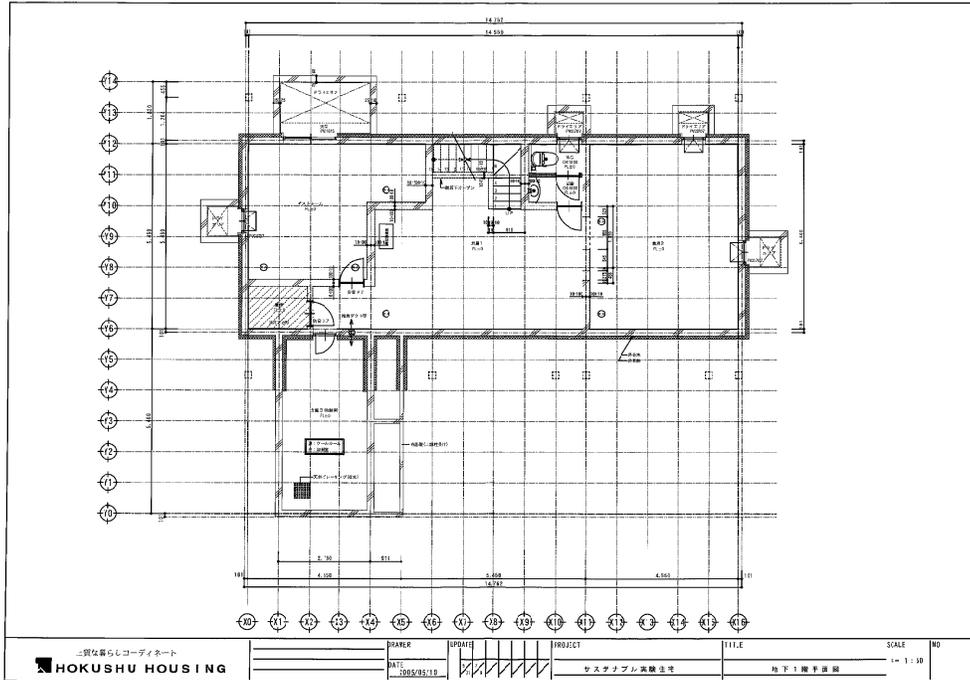


図 2-1-7. “ベクサス”外観図



図 2-1-8. “ベクサス”配電盤



図 2-1-9. “ベクサス”外設置太陽光パネル



製品概要

本実証では、ひとつの中古 HV 用バッテリー (ECU、コネクター類も含む) をリユースすることで、LIB スタビライザーを製造した。技術的に、既に回収が本格化している HV 用バッテリーと相性が良い点がポイントである。太陽光発電の不安定な電流を整流する機能を担う。一方で、一般的な PCS が持つ役割の一つである直交流変換に関しては、コンバーターを活用することで対応する。なお、HV 用バッテリーは、容量は少ないが、0.86kWh というストレージ容量を持つ。そのため、緊急時のストレージ用バッテリーとしても売り出せる可能性を持っている。強みとしては、一般的な太陽光発電システム用の PCS よりも安価に製造できる可能性がある点 (本実証実験の TASK2-3 で検証したポイント) や、環境改善効果が期待できる点が挙げられる。以下の図 2-1-10 に LIB スタビライザーの製品概要を示す。

図 2-1-10.本実証における製品概要

製品概要 - LIBスタビライザー



製造方法

- ひとつの中古HV用バッテリーをリユースすることで製造 (ECU類、コネクター類も併せてリユース)
- 一度により多くの電流を安定化する場合、高いCレートが必要になるため、**EV用バッテリーではなく、HV用バッテリーとの相性が良い**

機能

- 電流の整流機能 (ひとつのバッテリーあたり10kWの出力に対応可能)
- BCP用のストレージ機能 (ホンダフィットの場合 : 0.86kWh)

強み

- 他PCSに比べて安価で製造できる可能性
- リユース製品による環境改善効果

3.業務の体制

本実証実験では、(株)野村総合研究所、アットモバイル(株)、BUN エンジニアリング、エコメビウス(株)、東京大学、東北大学という6つのプレイヤーにより推進した。

(株)野村総合研究所は、TASK2の事業モデルの検討を主導するとともに、全体タスクの進捗管理等を担当した。アットモバイル(株)は、LIB スタビライザーのインターフェースユニットの開発を担当した。BUN エンジニアリングは、配線・設置工事を担当した。エコメビウスは、中古 LIB 調達に関する調査を担当した。また、東京大学・東北大学は、LIB スタビライザーの技術検証を主に担当した。以下に業務体制の詳細を示す。

表 3-1-1. 本実証における業務体制

		役割
事業代表者	(株)野村総合研究所	・ビジネスモデル検討 ・全体まとめ
事業代表者の外注先	アットモバイル(株)	・LIBスタビライザーのインターフェースユニット開発
	BUNエンジニアリング	・配線・設置工事等
	エコメビウス(株)	・中古LIB調達に関する調査
	東京大学	・LIBスタビライザーのインターフェースユニットに関連するデジタルインバーター技術検証
共同実施者	東北大学	・LIBスタビライザー技術検証

4.スケジュール

本実証実験におけるスケジュールに関して説明する。電力安定化機能の検証、安全性の検証、診断簡素化の検証に関しては、一部秋頃の台風の影響を受けて、遅延してしまったが、実証終了時点では当初の課題を解決することが出来た。事業モデルの検討、市場環境の調査等に関しては、当初の予定通り進めることが出来た。1月以降は、主に各タスクの取り纏めと報告書の作成を進めた。下記の図 4-1-1 にスケジュールの全体像を示す。

図 4-1-1. 本実証実験におけるスケジュール



Ⅱ.事業の実施内容

1.事業の全体概要

本章の構成について、以下に説明する。

2章は、LIB スタビライザーの技術検証(Task1)の詳細に関して説明する。

3章は、LIB スタビライザーの事業モデル検討(Task2)の詳細に関して説明する。

4章は、2章、3章の内容を踏まえた上で、本実証での実績および事業化に向けた今後の課題を改めて整理する。

5章は、本事業モデルの実現による環境改善効果に関して説明する。

6章は本事業モデル以外での LIB スタビライザーの販売方法に関する考察に関して説明する。

2.LIB スタビライザーの技術検証

2-1.基礎技術の開発

本章は、LIB スタビライザーを製品として成立させる上で最低限必要となる基礎技術開発を進めた結果に関して、詳細に説明する。

2-1-1.基礎技術概要

過去の実証実績

本実証事業に先立って、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)による平成30年度～平成31年度”ベンチャー企業等による新エネルギー技術革新支援事業/ベンチャー企業等による新エネルギー技術革新支援事業(フェーズB)/太陽光発電電力を地産地消するための直交流ハイブリッド電力システム”を行い、車載用リユースバッテリーによって不安定電力を直流安定化し、市販交流家電機器に対して直流電力または交流電力を切り替えて利活用する直交流ハイブリッド電力システムの実証を行っている。以下に過去の実証実績について述べる。

NEDO 実証事業の目的

地球温暖化対策の国際的枠組みであるパリ協定の実現は、各国共通のミッションである。そこでCO2 排出削減やエネルギーの多様化を目的に、再生可能エネルギー利用に軸足を置いたスマートタウン、スマートコミュニティ等のインフラ整備に向けた実証試験、再生可能エネルギーの高効率化に向けた研究開発等が、政府主導で行われてきた。しかし、現段階では技術的には可能であっても経済的に実現不可能であるという共通の課題を残している。また、東日本大震災後の再生可能エネルギー全量買取制度(FIT)の動向や系統連系の接続容量限界等から、既存技術や制度の展延のみでは、再生可能エネルギー普及を加速化することは困難であり、経済性を担保した再生可能エネルギー利用技術のブレイクスルーが期待されている。

再生可能エネルギー利用の拡大を図る上で、上述の問題点から、再生可能エネルギーの地産地消技術の重要性が高まっている。再生可能エネルギーとして現在のところ最も普及している太陽光発電を地産地消するには、一次に創出された直流電力を、パワーコンディショナーを介して交流に変換して利用している。一方、LED やパソコン等のデジタル家電をはじめ、多くの家電製品は、内蔵するコンバーターにより系統からの交流を直流に変換して作動している。

これらの直流⇄交流の変換過程では熱による変換損失が発生し、頻繁に直流⇄交流変換を行う現在の太陽光発電利用システムでは、少なくとも発電量の20%以上が電力の変換過程で失われている。この変換損失を低減させて電力システムの高効率化を図るには、変換工程を可能な限り少なくすることが効果的である。従って、太陽光発電によって創出された直流電力は、直流で動作する家電製品において、直流のまま利用の方が合理的である。最近、このようなコンセプトから直交流システムが提案されており、消費電力を従来の交流システムと比較して20%以上削減できることが実証されている。しかし、このようなシステムは図2-2-1-1に示す通り、大規模で複雑なシステムであることから莫大な設備費用を要し、現段階で一般に広く普及することは困難である。

以上のような現状を踏まえ、本事業では、太陽光発電電力を直流のまま地産地消する直交流ハイブリッド電力システムの技術開発を行い、高効率な電力システムを、既存の交流インフラを積極的に活用

することで、図 2-2-1-2 に示すような極小化したデバイス構成により、低コストで実現することを目的としている。

図 2-1-1-1.既存の直流給電システム

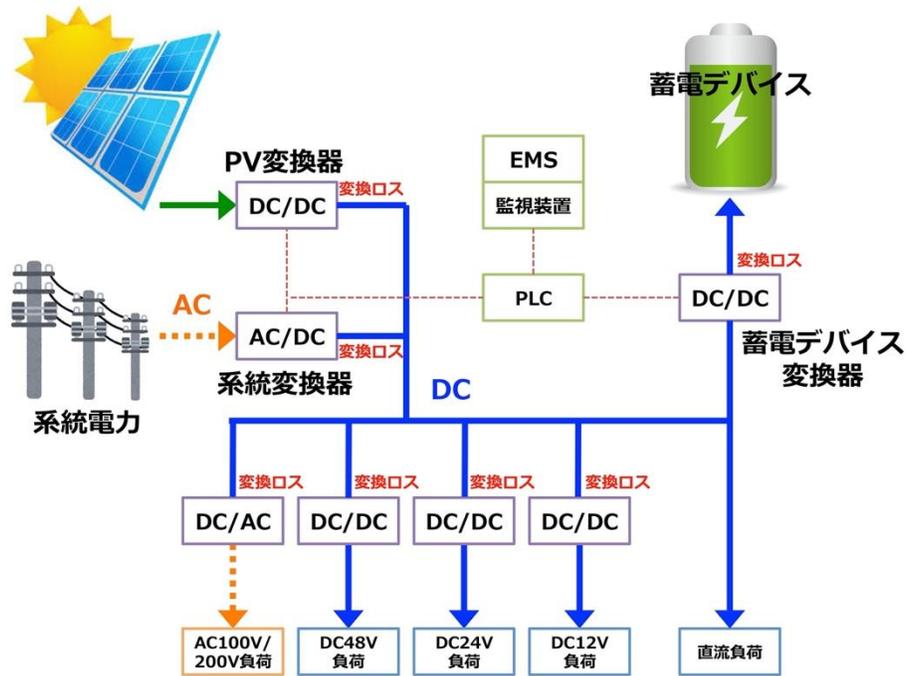
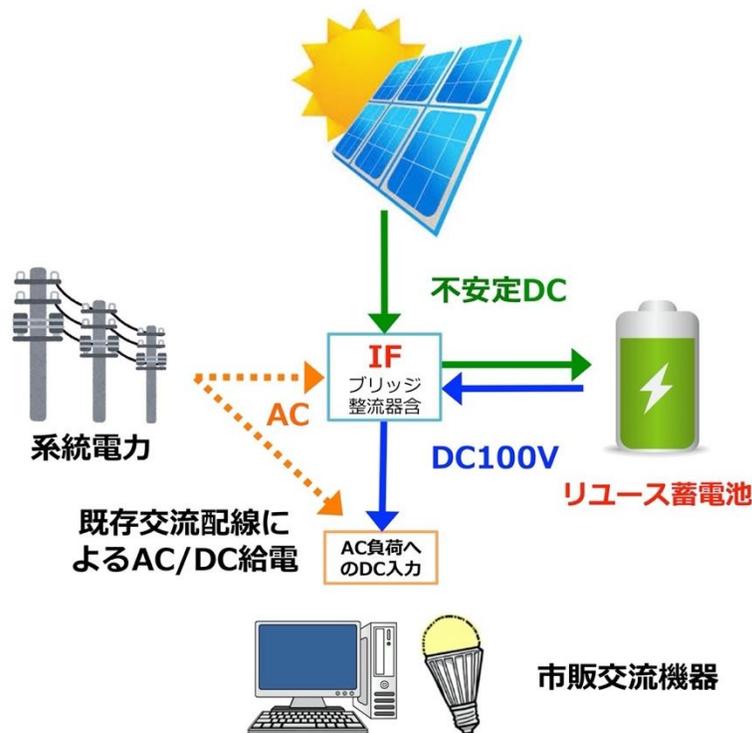


図 2-1-1-2.NEDO での開発システム



NEDO 実証事業内容

現在、太陽光発電等の再生可能エネルギーは、一般に系統電力と比較して発電コストが高く、天候等の自然環境に大きく左右され電力供給が不安定であるという課題がある。

そこで電力の安定化を図るため固定用バッテリーを用いると、更なる発電コストの上昇を招き、実用的システムから遠ざかることになる。また、太陽光発電等の再生可能エネルギー発電における現在の電力システムは、パワーコンディショナーを介した系統連系方式であるが、

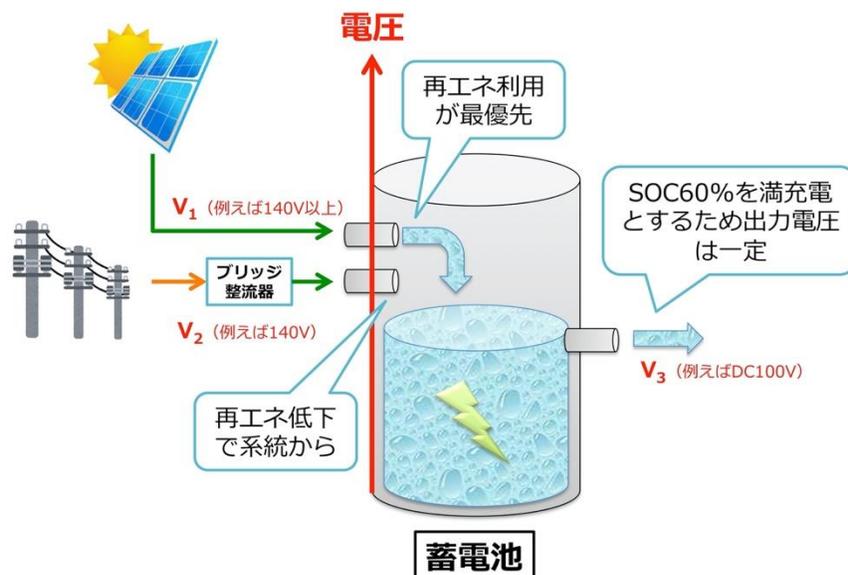
系統連系に係る接続容量等の制約があり、再生可能エネルギー普及の妨げとなっている。また、再生可能エネルギーに係る従来の電力システムの変換損失は大きく、少なくとも発電量の20%以上が熱として失われている。変換損失を低減し、系統連系に依存しない電力システムとして直流給電システムも提案されているが、大規模で複雑なシステムであることから、非常に高額な設備費用が必要となり、現段階では一般に広く普及することは困難である。

NEDO 技術開発では、これらの問題点を克服するため、以下の新技術の実用化を図った。

①バッテリーによる不安定電力の直流安定化

太陽光発電等による出力が変動する不安定な直流電力や、系統交流からダイオードブリッジにて整流して得る電圧が変動する直流電力に対して、バッテリーを並列接続することで、安定な直流電力を得ることができる。図2-1-1-3に概念を示す通り、この場合のバッテリーは、電力のストレージではなく、電力を平滑化するコンデンサーとして用いるところに最大の特徴がある。従って、蓄電機能が劣化した廃バッテリーを用いても全く問題ないことから、今後、廃棄電気自動車等から大量に発生すると予想される車載用廃バッテリーをリユースすることを想定している。このようなシステムにより、太陽光発電電力の安定化を、系統電力とバッテリーを併用し、安全性を担保しながら、最小限のバッテリー容量で、低コストで実現する。

図 2-1-1-3. バッテリーによる不安定電力の直流安定化



②既存交流配線系への直流給電

前記、バッテリーによって安定化された直流電力は、既存の交流配電系に対して、系統に逆潮流させることなく直接入力する。太陽光発電が低下した場合には、系統交流からブリッジ整流器を介して整流した不安定な直流電力、あるいは PFC 回路を介した直流電力を、同バッテリーに入力して直流安定化して補う。即ち、系統電力を太陽光発電のバックアップ電源として積極的に利用し、これを前記 I の技術と連動させることで、直流利用環境を低コストで提供することができる。

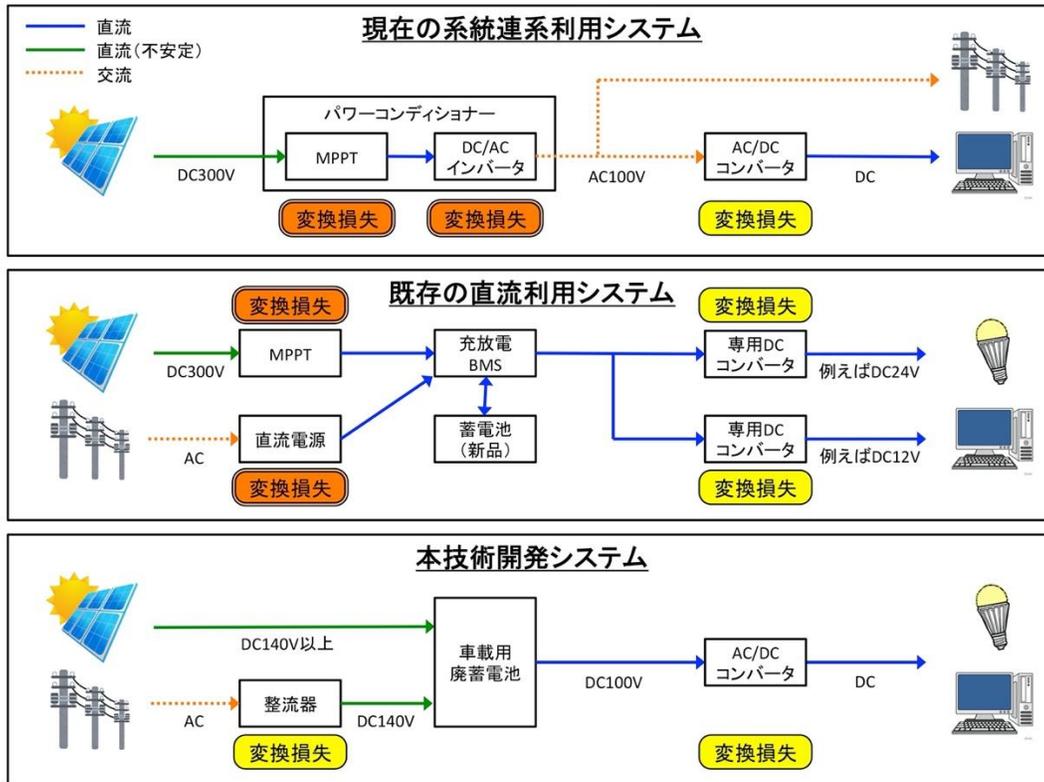
③既存交流電力入力機器の直流稼働

既存の交流電源入力機器の多くは、機器内部では直流電力で作動しており、現在はこれを AC/DC コンバーターを介して、系統交流を所定の直流電圧に変換して使用している。近年の家電製品の小型化・省電力化の潮流から、現在交流電源入力機器に採用されている AC/DC コンバーターの大部分は、系統交流を直接トランスで降圧せず、スイッチング電源を用いて電圧変換を行っている。このような交流電源入力機器に対して、交流の替りに DC100V を直接入力しても、ほとんどの機器は問題なく作動すると予想できる。

以上の I.~III.の技術を活用し、NEDO 技術開発システムでは、図 2-1-1-4 に概念を示すように、太陽光発電電力を極小化されたデバイス構成によって、変換損失とデバイスコストの最小化を達成する。

NEDO 実証事業においては、1kW 級ベンチモデル装置を開発し、本装置を用いて DC100V を基本とする利用環境にて、太陽光発電の安定化と系統バックアップを行い、システム安定性を確認し、バッテリー仕様を明確化することを目指した。その結果をもとに、東北大学大学院大学院環境科学研究科の Ecollab.(エコラボ)に 10kW 級の本技術開発システムを実装し、その実証試験から従来システムに対するエネルギー効率改善効果を確認するとともに、デバイスコスト等の評価を行うなどして、事業化計画を作成することを目的とした。

図 2-1-1-4.NEDO 技術開発システムのデバイス構成と変換効率向上の概念



NEDO 実証事業の成果要約

不安定な太陽光発電電力と系統交流電力をダイオードブリッジにて整流した不安定電力を、リチウムイオンバッテリーを並列接続して直流安定化し、DC100V で負荷に供給できる 1kW 級ベンチモデル装置を開発し、その効率評価を行った。

日産リーフの車載用リユースバッテリー(24kWh)を活用した 10kW 級直交流ハイブリッド電力システムを開発し、東北大学大学院環境科学研究科の“Ecollab.”にて実証試験を行った。その結果、既存の交流配線系を活用して直流給電を行い、交流用の市販 LED 照明に対して直流または交流を適時切り替えて運用できることを確認し、その効率評価を行った。

開発した 1kW 級ベンチモデル装置を用い、交流用の市販機器(照明機器、TV、PC、クッキングヒーター等)が DC100V 入力にて問題なく作動することを確認した。また、直流作動する機器に関しては、コンセントプラグの極性に依存せず、通常の交流利用環境と同様に使用できることも確認できた。

また、同じく 1kW 級ベンチモデル装置を用い、交流用の市販機器に対する DC100V の利用環境におけるアーク放電発生の有無を確認した。その結果、開閉接点に対するコンバーターの配置によって、直流利用時でもアーク放電の発生が抑制できることを確認した。

研究開発項目①:1kW 級ベンチモデル装置

太陽光発電電力や系統交流電力をダイオードブリッジにて整流しただけの不安定な直流電力に対し

て、バッテリーを並列接続することで直流安定化し、バッテリー電圧で規定された安定な直流電力が得られる。これを試験確認するため、1kW 級のベンチモデル装置を開発した。

図 2-1-1-5 にベンチモデル装置の外観を、図 2-1-1-6 にシステム構成の概略をそれぞれ示す。本装置は、太陽光発電を模した直流電源を用意し、系統交流電力をスライダックによって降圧し(バッテリー電圧に合わせるため)、ダイオードブリッジにて整流した不安定電力を、SONY 製リチウムイオンバッテリー(1.1kWh)を並列接続して直流安定化し、DC コンバーターで DC100V に昇圧して利用することができる。

図 2-1-1-7 に系統交流をダイオードで半波整流した電圧波形を、図 2-1-1-8 にこの半波整流した電力に対してバッテリーを並列接続することで得られた安定な直流電力の電圧波形をそれぞれ示す。この場合のバッテリーは、一般的な電力のストレージではなく、電力を平滑化するためのコンデンサーとして用いるところに本開発システムの特徴がある。

図 2-1-1-5. 1kW 級ベンチモデル装置



図 2-1-1-6. 1kW 級ベンチモデル装置のシステム構成

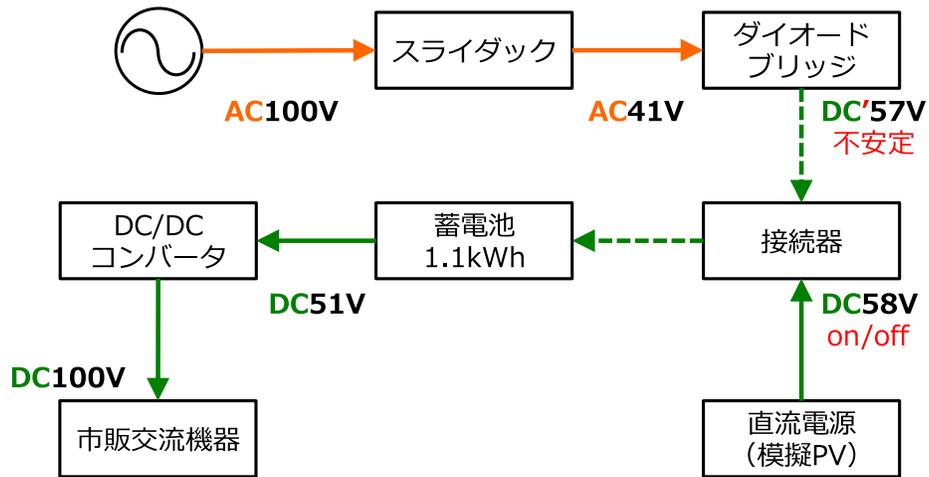


図 2-1-1-7. 系統交流電力をダイオードにて半波整流した電圧波形

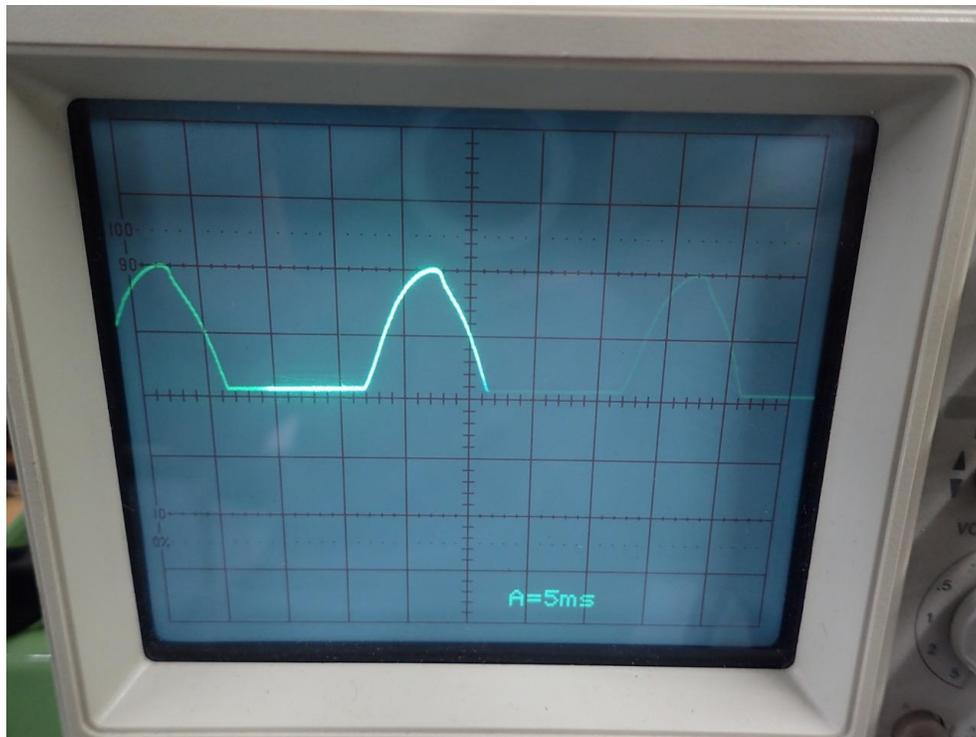
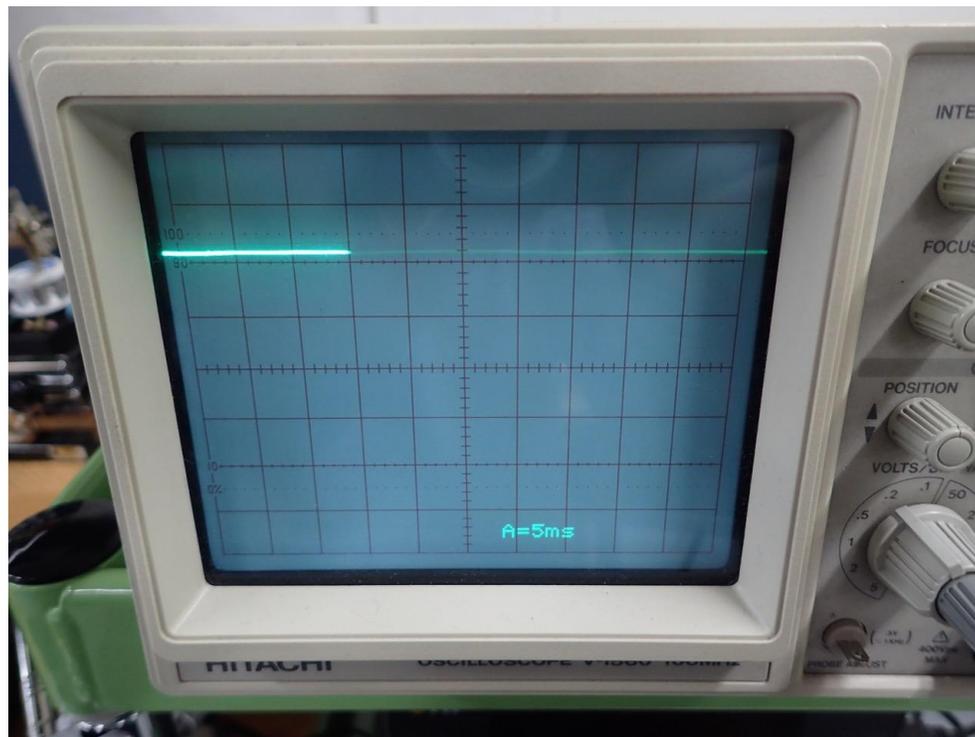


図 2-1-1-8. バッテリーを並列接続して得られた安定な直流電力の
電圧波形



NEDO 実証事業において開発した 1kW 級ベンチモデル装置では、使用したリチウムイオンバッテリーの電圧 (51V) を基準にシステムを構成したため、スライダックやコンバーターを配して電圧変換を行っている。従って、装置自体の効率は高くなく、特にスライダックの効率を測定すると 60~66%程度であり、全電力の 4 割近くが熱で損失していることが確認された。

しかし、実際に開発する直交流ハイブリッド電力システムにおいてトランスによる電圧変換を行うことはないことから、開発システムの効率評価は図 2-1-1-9. に示したダイオードブリッジ、接続器 (ダイオード)、リチウムイオンバッテリーからなる基本的な構成に対して、直流電子負荷を接続することによって行った。

図 2-1-1-9. 1kW 級ベンチモデル装置の効率

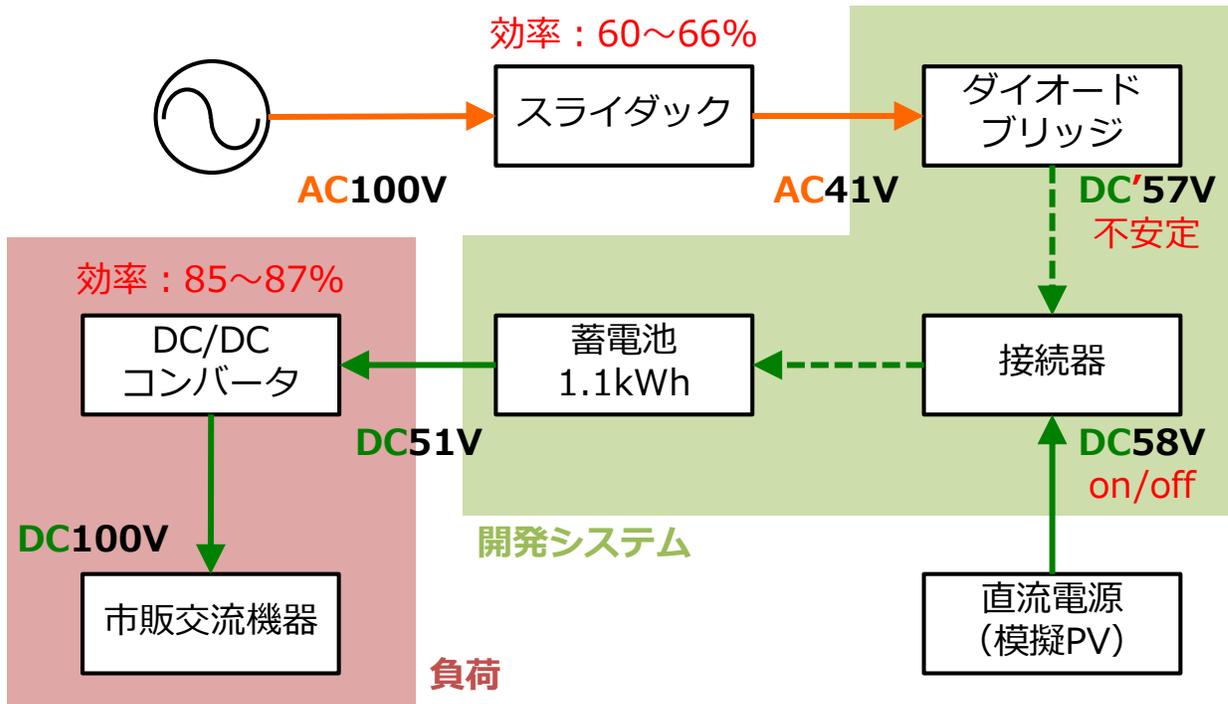


図 2-1-1-10 に、バッテリーに単に負荷を接続する“バッテリーモード”における開発システムの効率を示す。この場合の損失は接点抵抗のみであり、99.8%の効率が実測された。

図 2-1-1-11 に、太陽光発電電力を模した直流電源に接続器を介してバッテリーで平滑化する“PVモード”における開発システムの効率を示す。この場合の損失は接続器のダイオード損失が主となり、92.8%の効率が実測された。これは太陽光発電電力を地産地消する場合の効率に相当し、本開発システムでは、MPPT 回路やインバータを排除した極小化したデバイス構成とすることで、10%未満の損失で電力の地産地消が実現できる可能性を示している。

図 2-1-1-12 に、太陽光発電が停止し、系統交流電力によるバックアップ運転を行う場合の開発システムの効率を示す。この場合の損失は、接続器のダイオード損失に整流のためのダイオードブリッジによる損失が加わり、86.5%の効率が実測された。尚、これはバッテリーの実質的な入出力電力をゼロに設定した場合の効率であり、図 2-1-1-13 のように負荷出力が増加して、系統バックアップ電力にバッテリーからの電力(約 230W)が加わった場合には、ダイオード損失は相対的に低くなり、95.7%の効率が実測された。

以上の評価は、使用したダイオードに対して比較的低電圧・低電力で行っているため、当初予想よりも大きなダイオード損失となっているが、実際の開発システムでは、適切な定格の部品を選定することで更に損失を抑制できると予想する。

図 2-1-1-10. バッテリーモードにおけるシステム効率

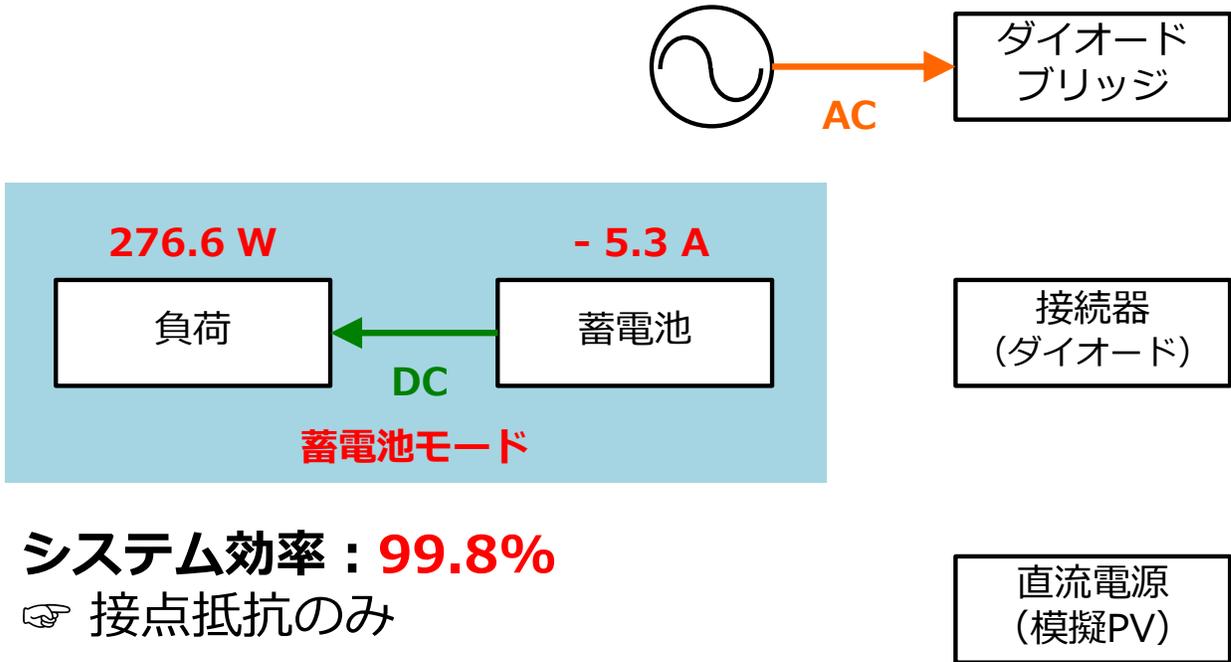


図 2-1-1-11. PV モードにおけるシステム効率

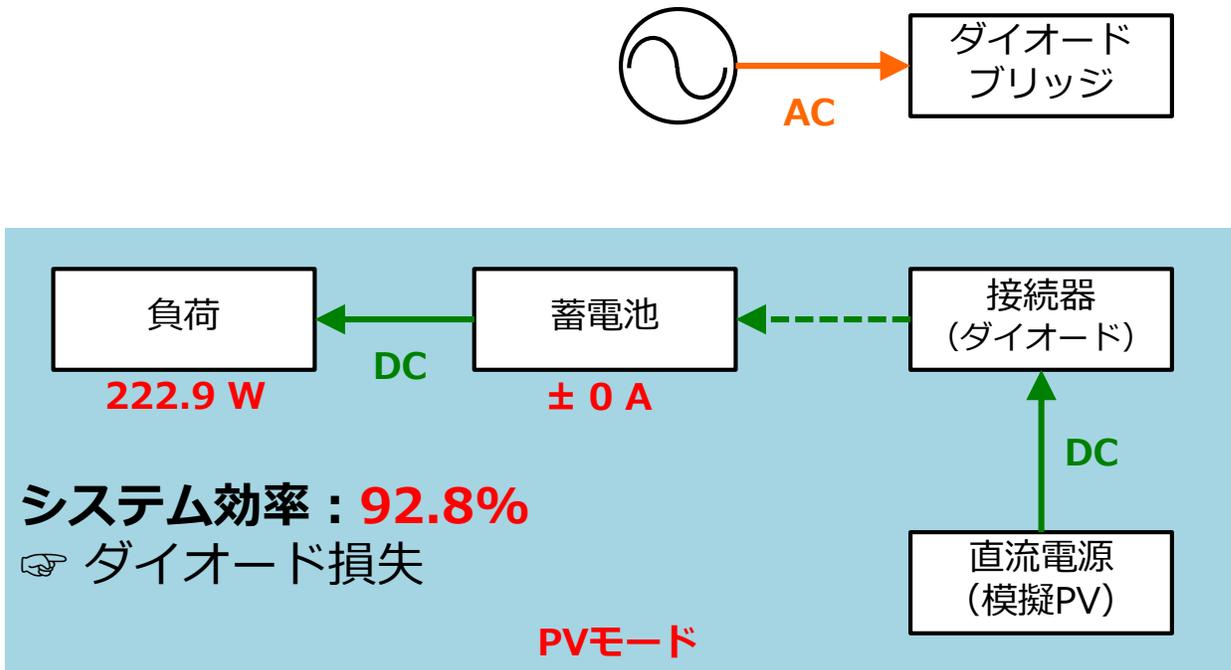
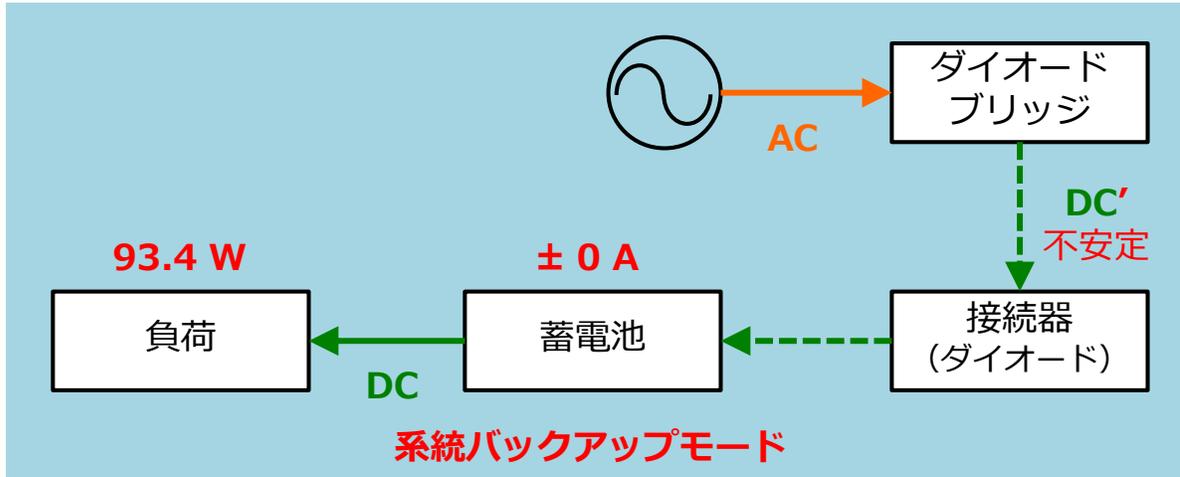


図 2-1-1-12. 系統バックアップモードにおけるシステム効率

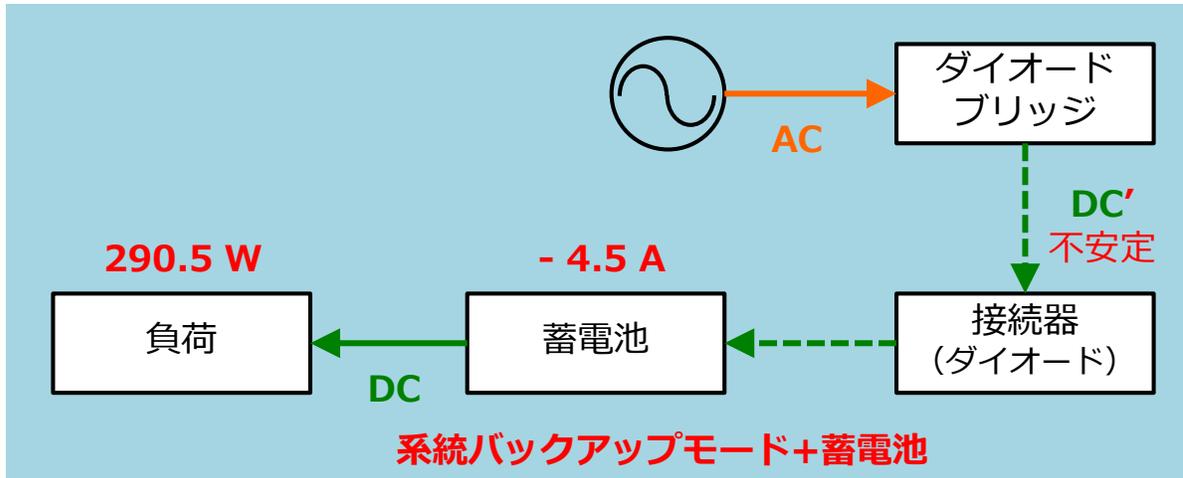


システム効率 : **86.5%**

☞ ブリッジ+接続器損失

直流電源
(模擬PV)

図 2-1-1-13. 系統バックアップ+バッテリーモードにおけるシステム効率



システム効率 : **95.7%**

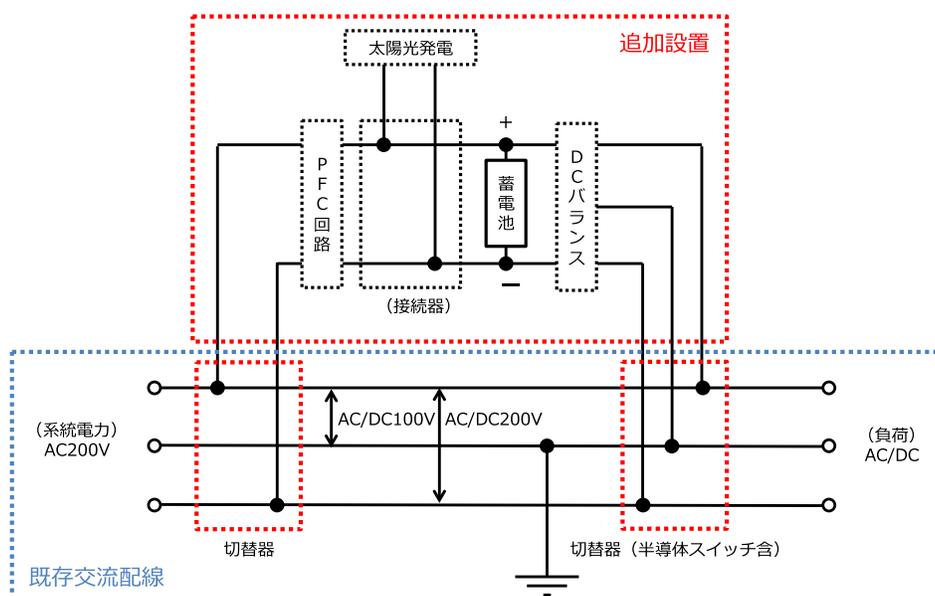
☞ ブリッジ+接続器損失

直流電源
(模擬PV)

研究開発項目②:10kW 級直流ハイブリッド電力システムの開発と実証試験

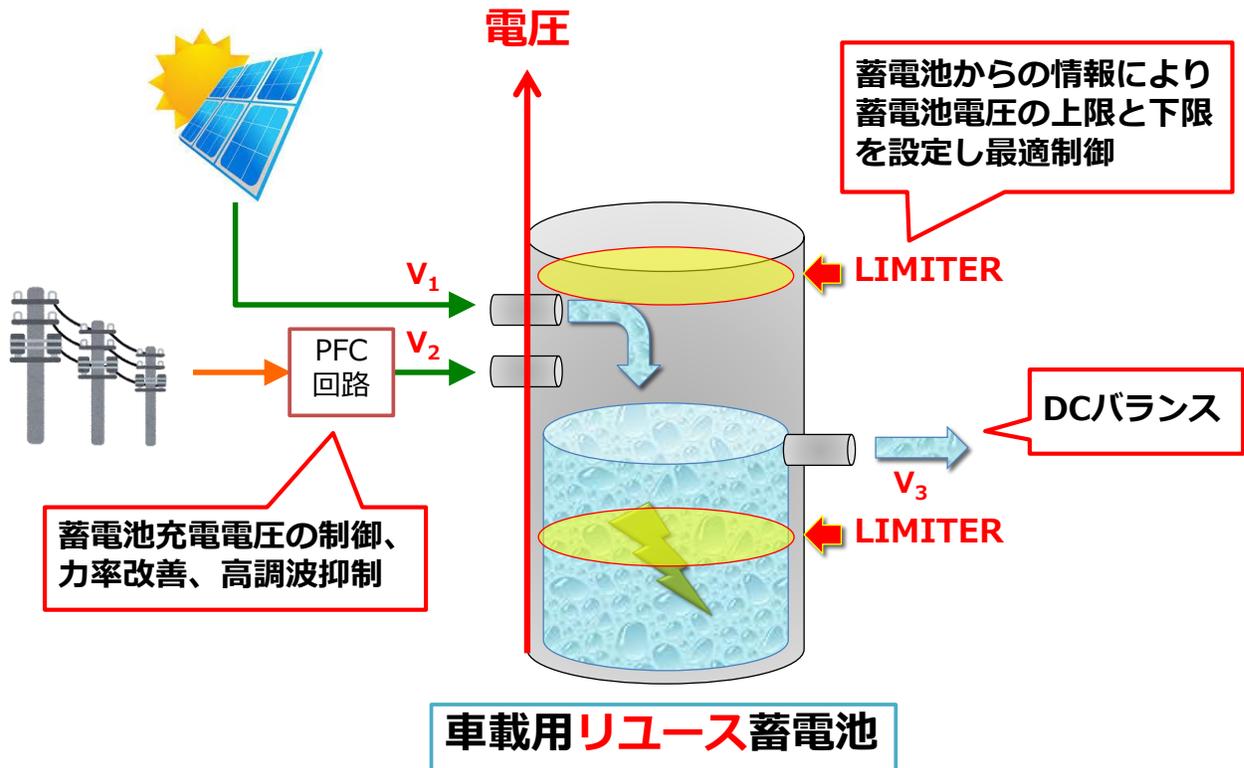
太陽光発電電力や系統交流電力をダイオードブリッジにて整流しただけの不安定な直流電力に対して、バッテリーを並列接続することで直流安定化した直流電力は、図 2-1-1-14 に示すように、既存の交流配線系に対して直接入力して直流給電を行う。太陽光発電が低下した場合には、系統交流電力からダイオードブリッジを介して電力を補う。即ち、本開発技術では、系統交流電力を太陽光発電のバックアップ電源として積極的に活用し、直流利用環境を低コストで実現することを目指している。例えば、DC100V と DC200V のように異なる電圧を供給することも可能で、また、切替器によって従来の系統交流利用環境へ戻すことも可能である。尚、その際は系統への電力の逆潮流が生じないよう、十分に配慮することが必要である。

図 2-1-1-14. 既存交流配線を活用した直流給電の概念



本電力システムにおいて用いるバッテリーは、内部抵抗等の特性からリチウムイオンバッテリー (LiB) が最適であり、バッテリーの C レート特性、経済性及び環境性、更には LiB の過充電防止の観点からも SOH が低下した車載用廃バッテリーの利用が好適である。特にストレージ機能を重視しない場合には、一般的なリユースに適さない SOH が 70%以下に低下したバッテリーでも全く問題なく利用することができる。原理的には、バッテリー電圧に対して、太陽光発電電圧、系統交流からの整流電圧を適切に設定するだけで安全に制御できることから、複雑な BMS (Battery management system) による制御は不要であり、万一の過放電・過充電防止のための保護機構のみ備えればよい。

図 2-1-1-15. 主な開発内容



NEDO 実証事業においては、日産リーフのリユースバッテリーを活用し、太陽光発電等からの直流、及び系統交流に適時切り替えて利用できる直交流ハイブリッド電力システムを開発し(図 2-2-1-16)、東北大学大学院環境科学研究科の“Ecollab.”に実装した(図 2-1-1-17~20)。

図 2-1-1-17. 日産リーフのバッテリーパック(リユース)



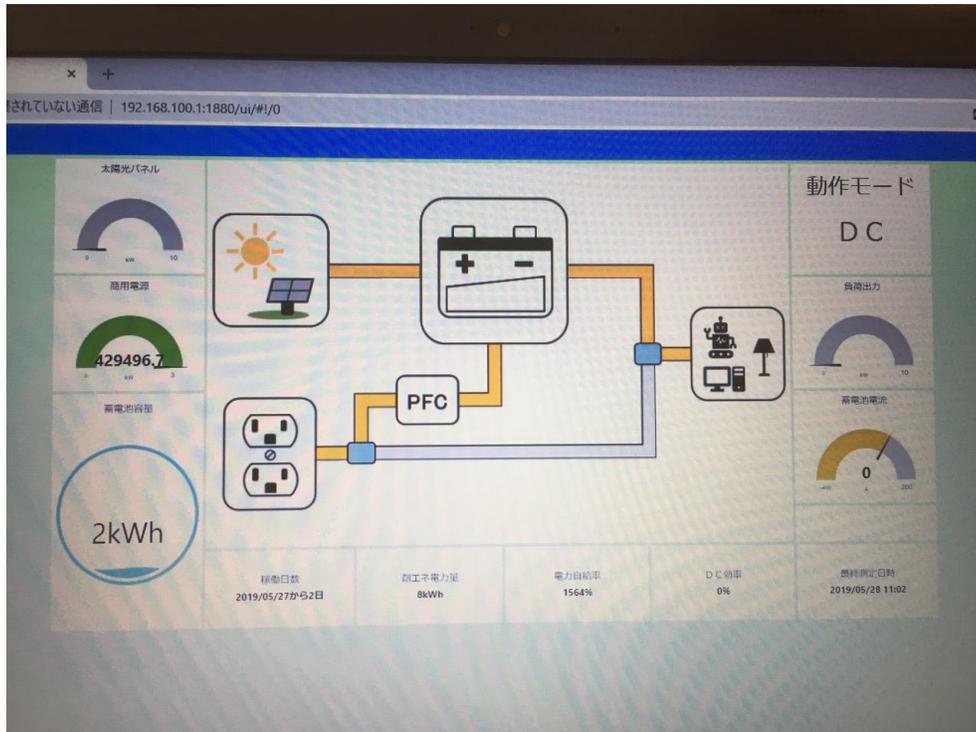
図 2-1-1-18. 直交流ハイブリッド電カシステム BMU



図 2-1-1-19. 東北大学大学院環境科学研究科“Ecollab.”



図 2-1-1-20. バッテリーシステムモニター装置



NEDO 実証事業において開発した 10kW 級直交流ハイブリッド電力システムの基本的な構成を図 2-1-1-21 に示す。実証試験を行った東北大学大学院環境科学研究科“Ecollab.”に既設の太陽光発電電圧が 300V 程度に留まり、使用したバッテリーパックに対して電圧が低すぎること、及び自然条件に左右されずに実験を行えることから、本システムでも太陽光発電電力は直流電源によって模擬した。系統交流電力によるバックアップでは、原理的にはダイオードブリッジだけで作動するが、系統接続に係る高調波抑制の観点から、PFC (Power Factor Correction) 回路を用いた。更に、既存交流配線系を活用して直流給電を行う際、単相三線配線に対して DC100V と DC200V の電圧を交流と同様に提供できるようにし、且つ、中点アース方式による感電対策を付加するため、バッテリー電圧を中点で二分して DC バランス回路を開発した。本システムを“Ecollab.”に実装し、同 LED 照明設備等を用いて実証試験を行った。

図 2-1-1-21 に示した通り、本システムの無負荷時の待機電力は、電磁リレーや CPU による電力消費により 40～60W 程度であった。

図 2-1-1-22 に、DC バランス回路の片側だけに Ecollab.照明 (600～650W 程度) を負荷として、バッテリーだけで運転した場合のシステム効率を示す。このモードでは DC バランス回路がアンバランス状態となり効率が低下する。本実証試験ではこのモードで 86% のシステム効率が実測された。

図 2-1-1-23 に、DC バランス回路のもう一方に直流電子負荷を接続することである程度バランスを取って、同回路への負担を軽減した場合のシステム効率を示す。この場合には 95% のシステム効率が実測された。

図 2-1-1-24 に、同様にある程度 DC バランスを取ったうえで、PFC 回路を介して系統バックアップ運転を行った場合のシステム効率を示す。この場合、PFC 回路等に損失が加わり、82% のシステム効率が実測された。

図 2-1-1-25、図 2-1-1-26 に、図 2-1-1-24 の場合に加えて、模擬 PV の電力と系統バックアップ運転を併用した場合のシステム効率を示す。この場合、模擬 PV 電力が増大するのに比例して PFC 回路への負担が軽減し、84～85% のシステム効率が実測された。

図 2-1-1-27 に、ほぼ完全にバランスするように負荷を調整し、模擬 PV のみによる運転を行った場合のシステム効率を示す。この場合システム効率は向上し、92% の効率が実測された。

図 2-1-1-21. 10kW 級直交流ハイブリッド電力システムの基本構成

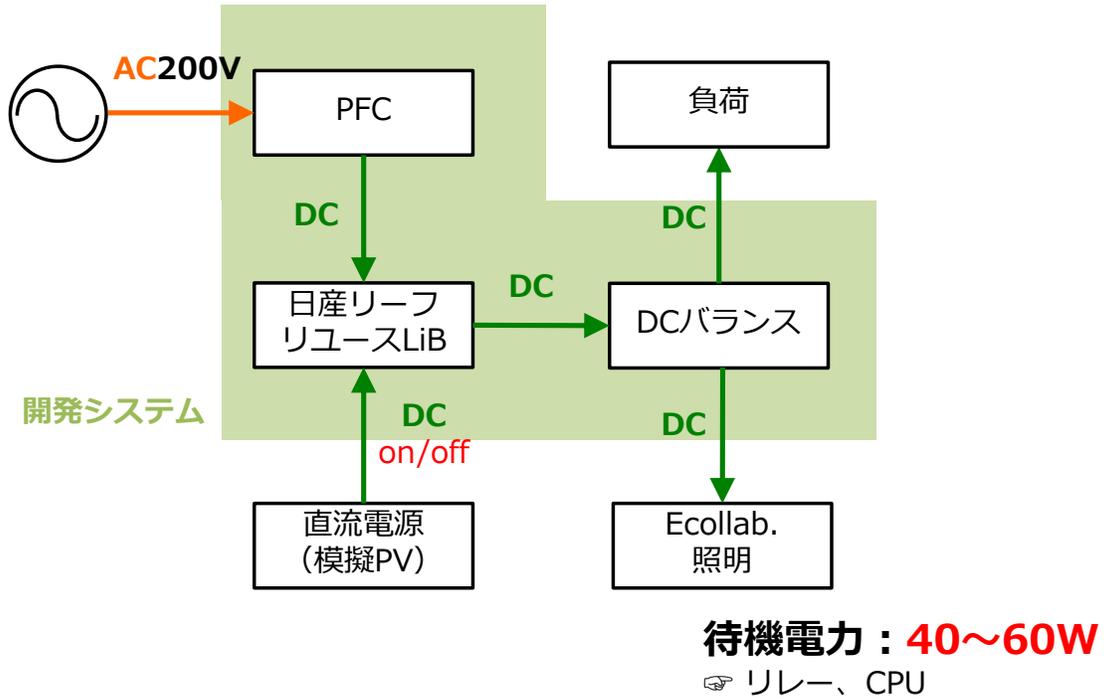


図 2-1-1-22. バッテリーモード・片負荷時のシステム効率

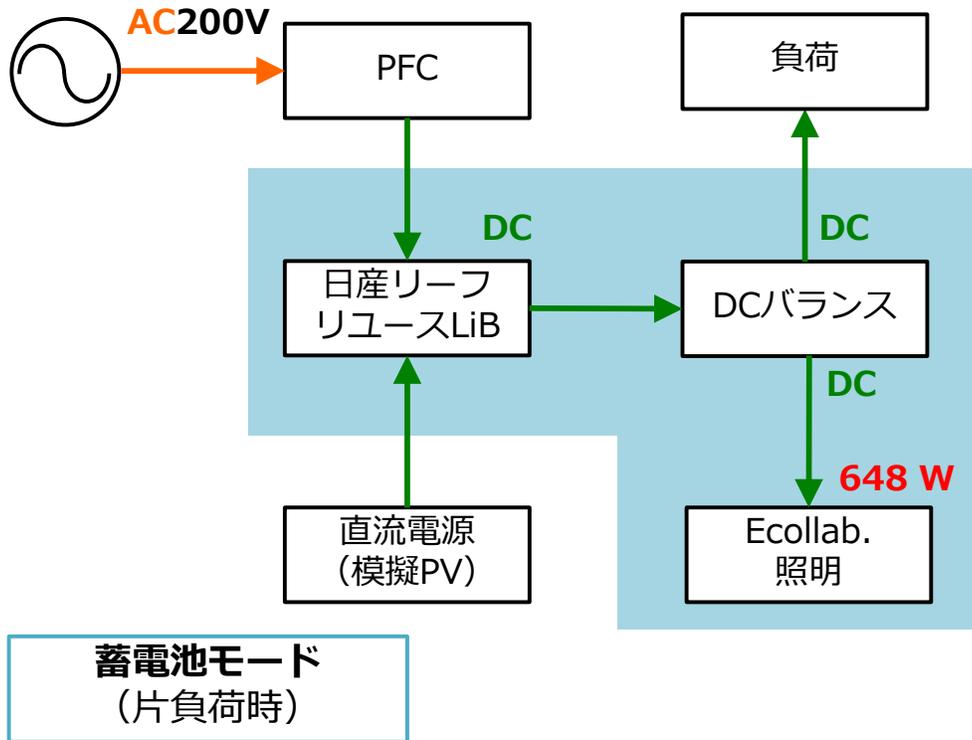
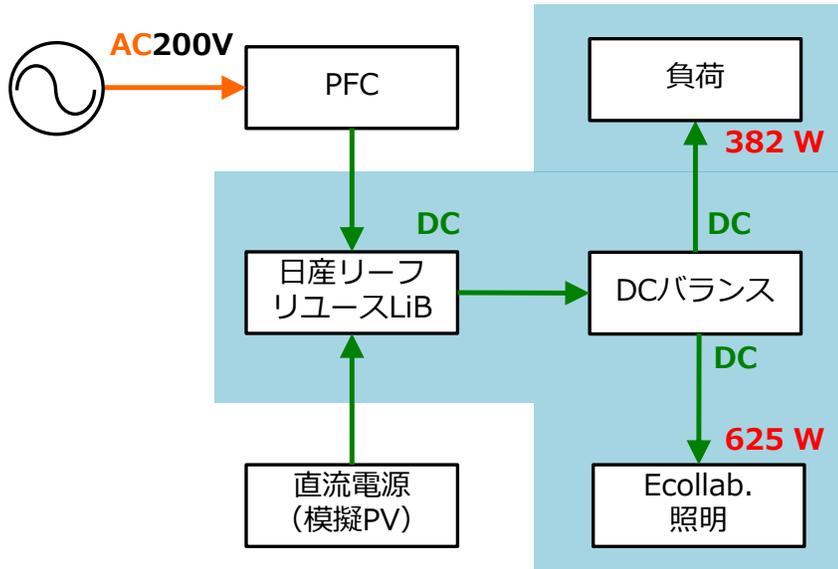


図 2-1-1-23. バッテリーモード・DC バランス軽減時のシステム効率

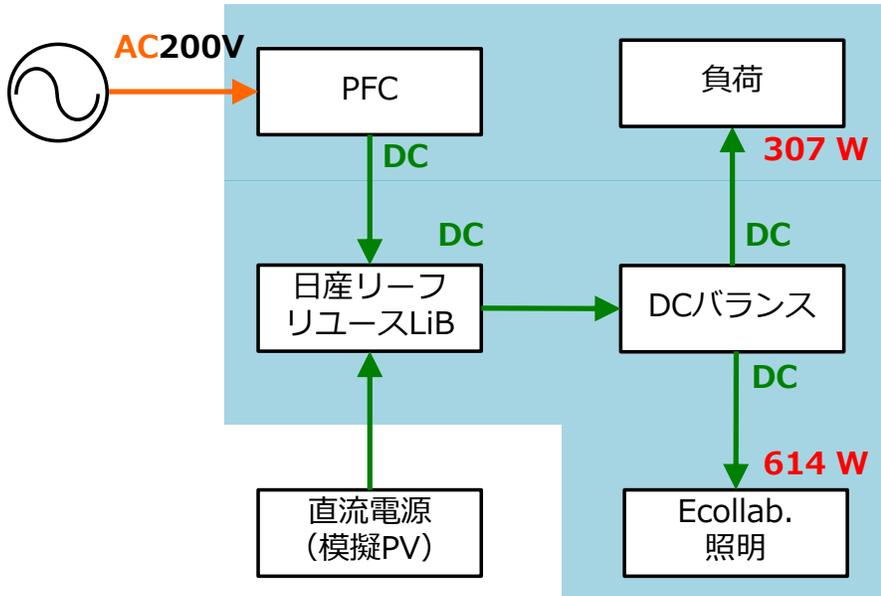


蓄電池モード

システム効率 : 95%

☞ DCバランス回路への負担軽減

図 2-1-1-24. PFC モード・DC バランス軽減時のシステム効率

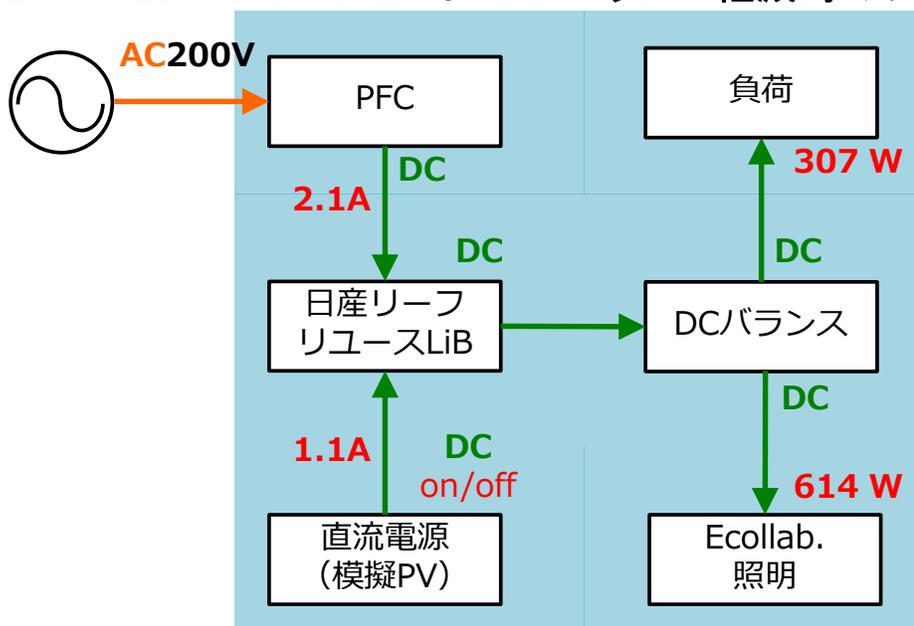


PFCモード

システム効率 : 82%

☞ PFC回路等による損失

図 2-1-1-25. PV+PFC モード・DC バランス軽減時のシステム効率

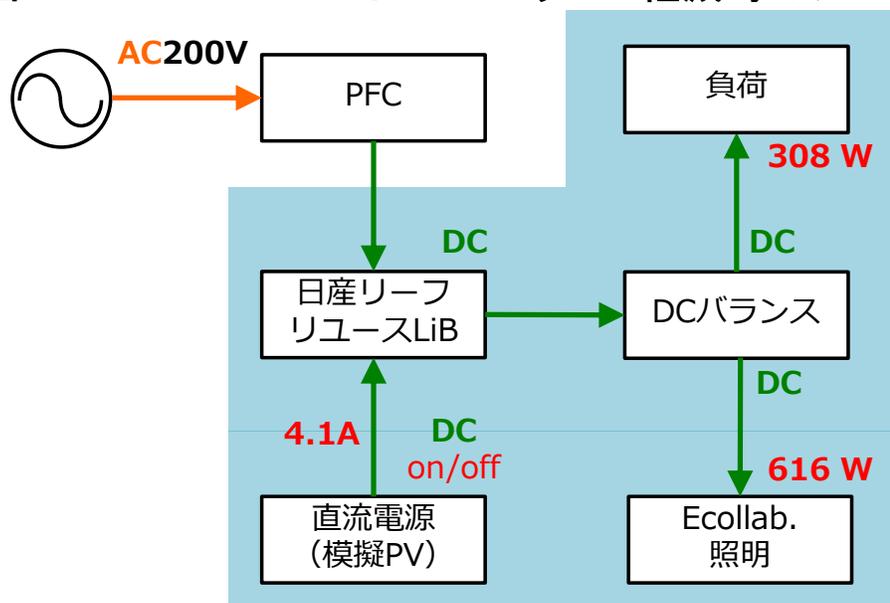


PV+PFCモード

システム効率 : 84%

☞ PFC回路への負担が軽減

図 2-1-1-26. PV モード・DC バランス軽減時のシステム効率

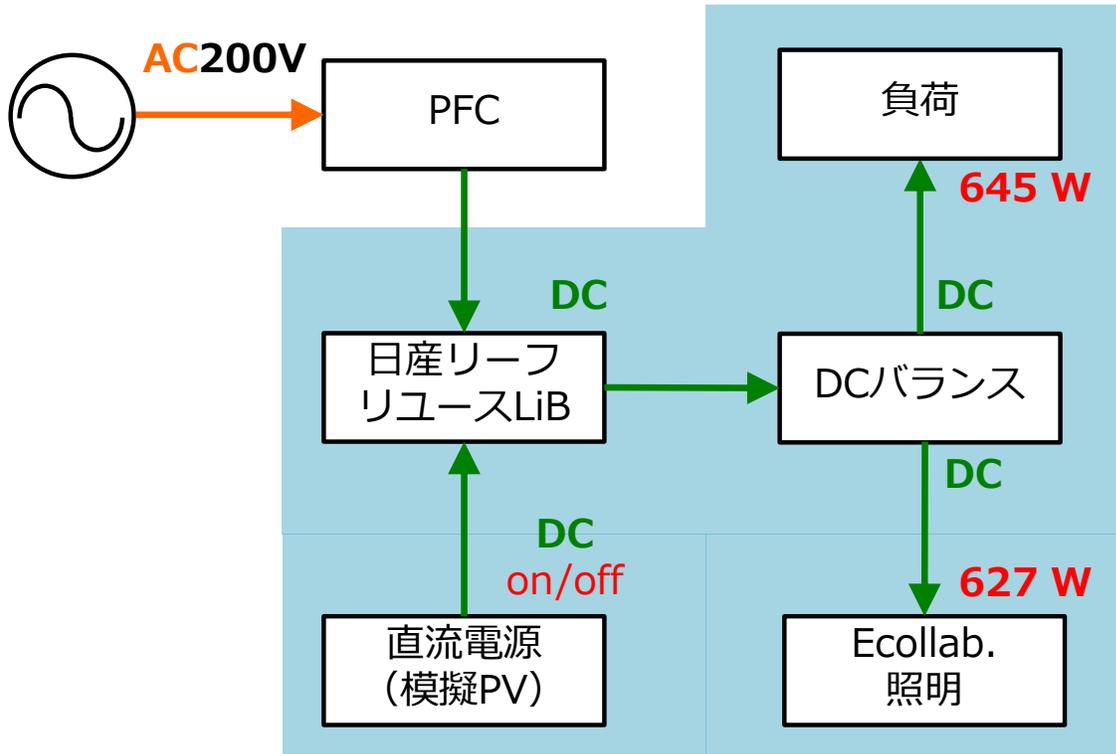


PVモード

システム効率 : 85%

☞ PFC回路への負担が軽減

図 2-1-1-27. PV モード・DC バランス時のシステム効率



PVモード
(負荷バランス時)

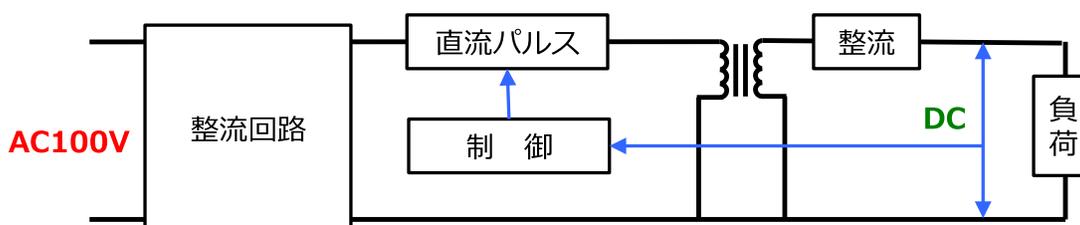
システム効率 : 92%
☞ PFC回路への負担が軽減

表 2-1-1-28. 市販交流機器の直流作動試験結果一覧

試験交流機器	試験製品数	直流作動	備考
電球	3	○	
蛍光灯	6	△	安定器を外せば作動
LED	10	○	作動電圧は製品毎に異なる. 一社製品のみ NG
TV	3	○	
電話機	2	○	
モデム・ルーター	3	○	
スマートフォン・携帯電話(充電器)	4	○	
電動工具(充電器)	3	○	
ノートパソコン	6	○	
デスクトップパソコン	4	○	
ディスプレイ	6	○	
オープンレンジ	2	×	スイッチが問題
IH クッキングヒーター	2	○	
クッキングヒーター(電熱線)	2	×	スイッチが問題
電子レンジ	1	×	
扇風機	3	△	DC モーターは OK
掃除機	3	△	DC モーターは OK
ファンヒーター	1	×	
複合機	2	×	
冷蔵庫	2	×	
人感センサー	1	×	
ウォッシュレット	1	×	
換気扇	3	×	
エアコン	1	×	

表 2-1-1-28 に、NEDO 実証事業で試験を行った市販交流機器の直流作動確認結果の一覧を示す。試験結果から、外付コンバーターが付帯する交流機器についてはほとんどが DC100V でも問題なく稼働することが確認され、コンバーターが内蔵する TV 等も同様であった。また、このような交流機器の直流使用では、直流の極性に無関係で、従来の交流使用時と全く同様に使用することができることが確認された。現在採用されているコンバーターの多くは、図 2-1-1-29 に概略を示すようなスイッチング電源であり、入力部のダイオード整流回路で交流を半波もしくは全波整流した後、直流パルスのスイッチングによって直流電圧の変換を行っている。このようなコンバーターに対して直流電力を直接入力すると、入力部の整流回路を直流が素通りし、その後段は交流入力時とほとんど等しく作動することから、直流作動も問題なく実現できると推察する。但し、実用利用時は、突入電流に対する検討と直流ヒューズへの交換は必要であろう。

図 2-1-1-29. スイッチング電源の基本回路構成



照明機器の多くが直流作動することが確認された。ここでフィラメント式の電球は原理的に問題なく作動することが容易に理解できる。蛍光灯では、メーカーの安定器によって、直流でもそのまま作動するものと、直接蛍光管に直流電力を入力するために安定器を外す工程が必要なものに大別された。また、LED の場合、ほとんどの製品が直流 100V で問題なく作動するが、一社製品のみ作動しないものが確認された。尚、製造メーカー毎に作動電圧は異なり、直流 70V でも点滅せずに点灯する製品がある一方、直流 95V 以上の電圧でようやく点灯する製品も確認された。

オープンレンジや電熱線式のクッキングヒーターでは、比較的大きな出力で直流 100V 作動させた場合、スイッチ部がアーク放電により破損することが確認された。一方、IH クッキングヒーターは問題なく直流 100V で作動することも確認された。

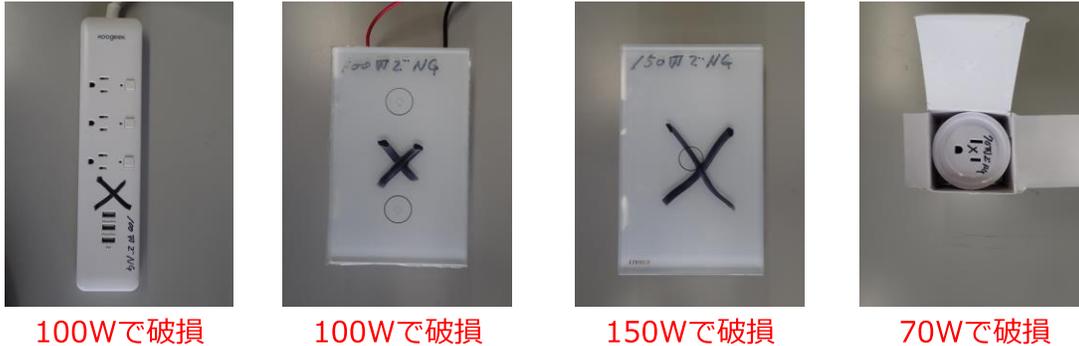
扇風機や掃除機等、直流モーターを採用する機器であれば直流でも作動するが、当然のことながら、交流モーターを採用する機器は作動しないことが確認された。その他、倍電圧整流回路を含む冷蔵庫、インバータ方式のエアコン、交流のゼロ点クロスを活用するセンサーも直流では作動しないことが確認された。

研究開発項目④:安全対策の明確化

直流利用時のアーク放電対策の確認を行って、安全対策の低コスト化を検討した予備試験から、交流用のトースターや電熱式のクッキングヒーターに直流を入力した場合、スイッチがアーク放電によって破損することが確認されている。市販の交流用のスイッチに対して DC100V を印加して開閉動作を行うと、数十～100W 超の出力でほとんどが破損してしまう(図 2-1-1-30)。

これに対して、コンバーターをスイッチに対して適切に配置することによって、直流利用時でもアーク放電の発生が大幅に抑制できることが確認された。

図 2-1-1-30. 市販交流用スイッチの DC100V 開閉



研究開発項目⑤:事業化計画

【研究開発成果】

- 車載用リユースバッテリーを制御する直交流ハイブリッド電力システムを開発
- 既存交流配線系と市販交流機器を用い、直流及び交流を切り替えて給電して作動を確認
- PV 電力の地産地消では 90%以上の効率
- 直流利用時の安全対策を提案

【技術課題】

- DC バランス、PFC 回路等のシステムの簡素化
- ノイズ対策、運転プログラムの最適化
- 直交流対応スイッチの開発
- 直交流対応機器の規格化と認証

【事業化ポイント】

- EV、HV からの廃バッテリーの劣化度合いは SOH:70~80 以上であり、本開発システムに対してはほとんどが適用可能
- 廃バッテリーの調達システムが重要
- 直交流ハイブリッド方式を普及させるには家電メーカーの参入が不可欠
- 現状では負荷を照明機器等に限定して個別に普及を図る

(以上、出典:平成 30 年度～平成 31 年度ベンチャー企業等による新エネルギー技術革新支援事業成果報告書から抜粋)※用語統一のため一部改変

本実証事業の目的・目標

以上に述べたように、NEDO 実証事業において車載用リユースバッテリーによって不安定電力を直流安定化し、既存の交流配線系を活用して、市販の交流用家電機器に対して適時直流電力または交流電力を切り替えて、アーク放電の発生を抑制しながら安全に電力を利用できることを実証した。しかし、NEDO 実証事業では日産リーフ(24kWh)のリユースバッテリーを用い、太陽光発電を模擬した直流安定化電源(1.5kW)での実証にとどまっている。本実証では蓄電容量が小さく一般的なストレージとしてのリユースに適さない HV 用のバッテリーを用いて PCS 代替機としての”LiB スタビライザー”を開発

し、より大きな出力の太陽光発電システムに接続して、実際の電力使用状況下において連続運転を行って LiB スタビライザー電力システムの安全性・信頼性を検証することを目的とした。また、廃車から回収したリユースバッテリーを LiB スタビライザーに適用するため、バッテリーパックのまま SOH を診断する簡易診断技術の確立を図った。

① ホンダフィット HV のバッテリー適用に伴う制御・管理技術の確立、安全性・信頼性の検証

☞ LiB スタビライザー電力システムを太陽光発電システムと接続して、実証期間中に約 4 ヶ月程度実験住宅に設置し負荷試験を行って、LiB スタビライザーの動作状況や温度等を監視し、安全性・信頼性を検証すること。

② ホンダフィット HV のリユースバッテリーに関する診断簡素化の検証☞ 廃バッテリーが LiB スタビライザーとしてリユース可能と判断できる残存性能レベルの条件及び診断方法が検証できていること。

ホンダフィット HV 用バッテリー

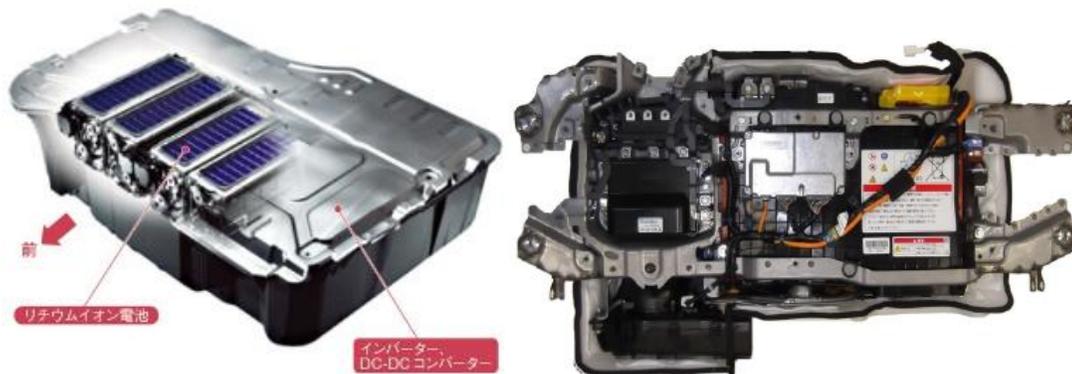
本実証ではホンダフィット HV に搭載され、同廃車から回収したリチウムイオンバッテリー（ブルーエナジー社製）をパックのまま用い、バッテリーパックに付帯する ECU 及びハーネスもそのままリユース活用した。

表 2-1-1-31. ホンダフィット HV 用バッテリーパック(新品)仕様

項目	仕様	備考
重量	40kg	
寸法	W703mm × D545mm × H216.5mm	フレーム 4ヶ所に取り付け 穴
蓄電容量	0.86kWh	最大蓄電電力容量(25℃)
定格電圧	173V	
電圧範囲	120V～201.6V	
保護用最高/最低電圧	最高電圧:200V 最低電圧:144V	セル電圧としては 3.0V～ 4.2V の範囲で使用する
定格入出力電力	充電時:約 18kW 放電時:約 20kW	SOC:50%
最大入出力電流	充電時:200A 放電時:140A	

(出典:平成 30 年度省 CO2 型リサイクル等設備技術実証事業報告書)

**表 2-1-1-32. ホンダフィット用リチウムイオン
バッテリーパック**



Cレート

バッテリーには定格容量が示されており、この定格容量を1時間で充放電する一定電流の充放電を1C充放電という。本実証で用いたホンダフィットHV用バッテリーでは、定格容量:0.86kWh(4.97Ah)から1C充放電は約5Aの定電流でローディングすることであり、表2-1-1-31の最大入出力電流値から、充電時は約40C、放電時は約28Cもの大きなCレート特性を有することが解る。本実証ではこのCレート特性を活かし、比較的小さな容量のバッテリーで大きな出力の太陽光発電電力を直流安定化することを特徴としている。理論上対応可能な太陽光発電出力値は以下の通り導かれる。

$$\text{定格容量 [kWh]} \times \text{Cレート} \geq \text{PV出力 [kW]}$$

従って、ホンダフィットHV用バッテリーパック1台で、少なくとも20kWもの太陽光発電電力に対応できることになる。

LiBスタビライザー電力システムの概要

前述したNEDO実証事業では、PVが発電する日中は直流給電、PV電力が低下した場合は系統交流電力をPFC(Power Factor Correction)回路を介してバッテリーに入力してバックアップし、PVが発電しない夜間は系統交流電力に切り替えて給電した。この場合PFC回路による変換損失とデバイスコストが課題となっていたことから、本実証システムではこれを廃し、PV電力が不足してバッテリー電圧が一定値以下に低下した場合は、日中であっても系統交流に切り替えて給電する方式とした。

図 2-1-1-33.本実証システム概要

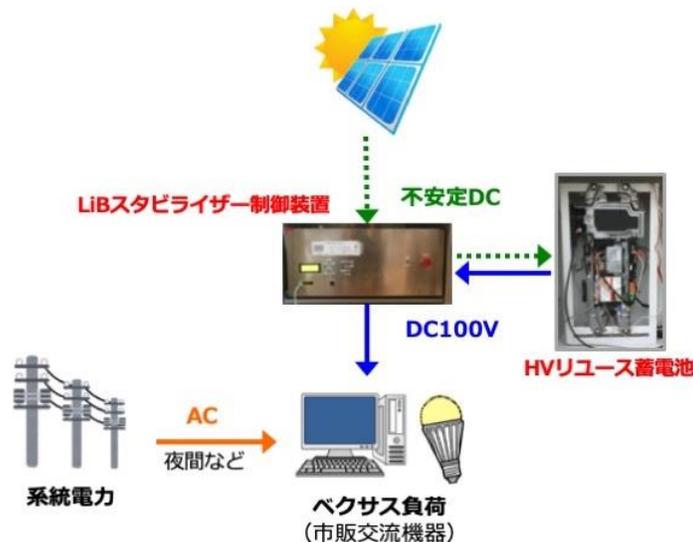


図 2-1-1-34. LiB スタビライザー電力システム構成と AC/DC 切替器

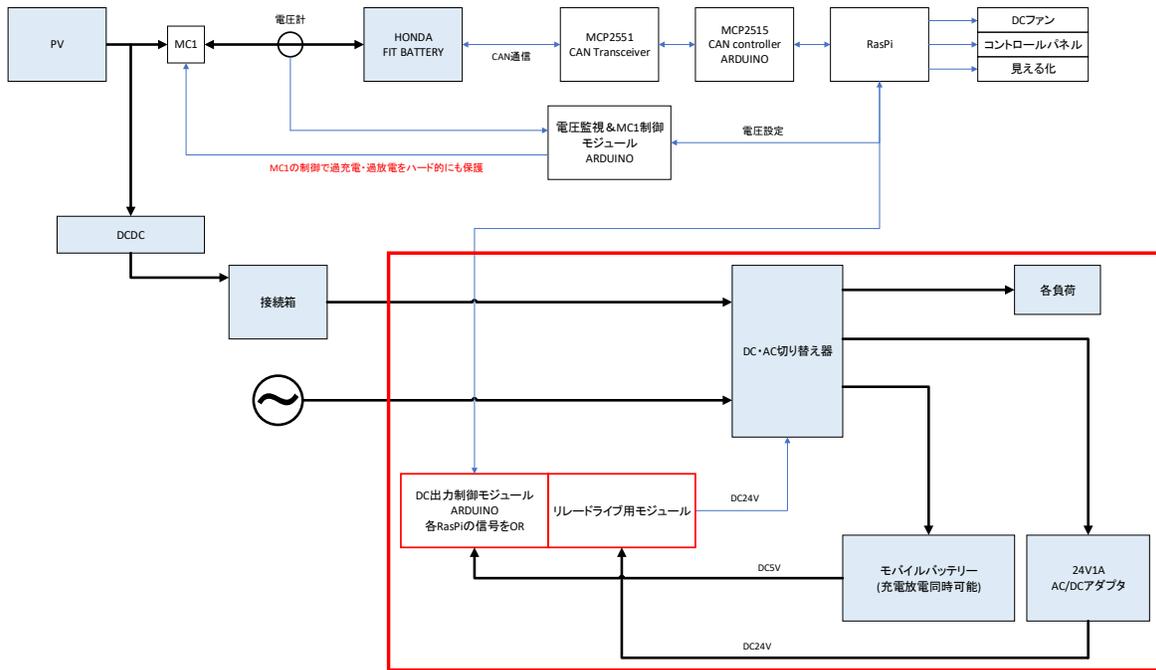
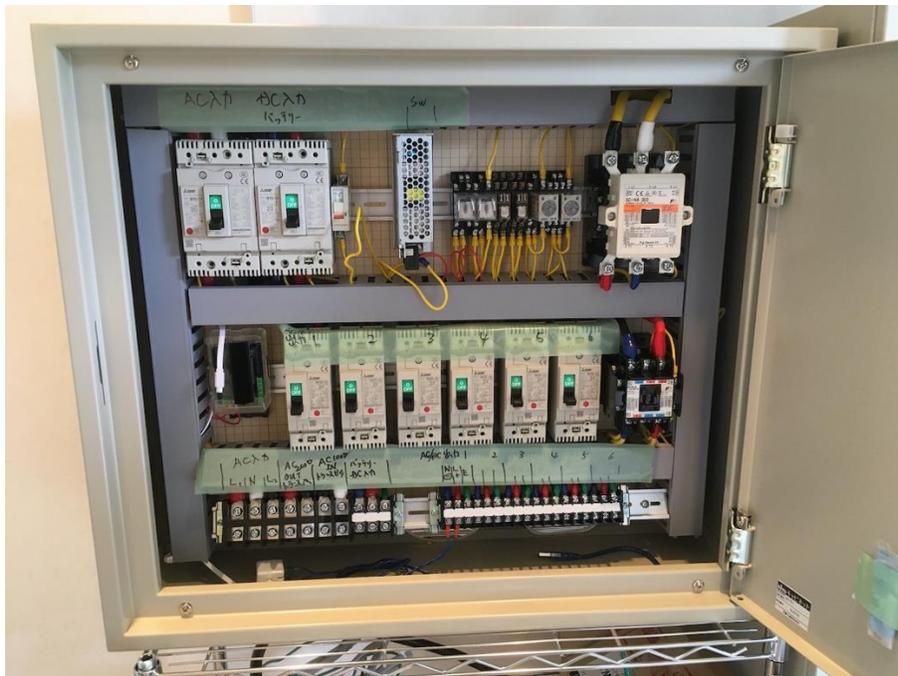


図 2-1-1-35. AC/DC 切替機能付き配電盤



LiB スタビライザー制御装置

本実証では、ホンダフィット HV 用バッテリーパックを LiB スタビライザーとして制御するための制御装置を開発した。日中晴天時に PV が発電する間は、PV からの不安定な直流電力を LiB スタビライザーによって安定化し、DC コンバーターを介して直流 100V に降圧してベクサス負荷に給電する。曇天等、PV 発電が不足してバッテリー電圧が一定値以下に低下した場合は、前記 AC/DC 切替器によって、系統交流電力に切り替えて交流 100V を給電する。また、PV 発電が再開しバッテリー電圧が一定値以上に復帰すると、再び直流 100V に切り替えて給電する。

LiB スタビライザー電力システムの全体構成を図 2-1-1-36 に、同システムユニット構成を図 2-1-1-37、筐体制御ユニット構成を図 2-1-1-38 に、LiB スタビライザー制御装置の外観を図 2-1-1-39 にそれぞれ示す。また、PV 発電電力、直流および交流による負荷消費電力は日置社製パワーメーター (model;PW3334、PW3336)、バッテリー等の温度データは GRAPHTEC 社製データロガー (model; GL240) と T 熱電対によりそれぞれ記録した (図 2-1-1-40、図 2-1-1-41)。

図 2-1-1-36. LiB スタビライザー電力システム

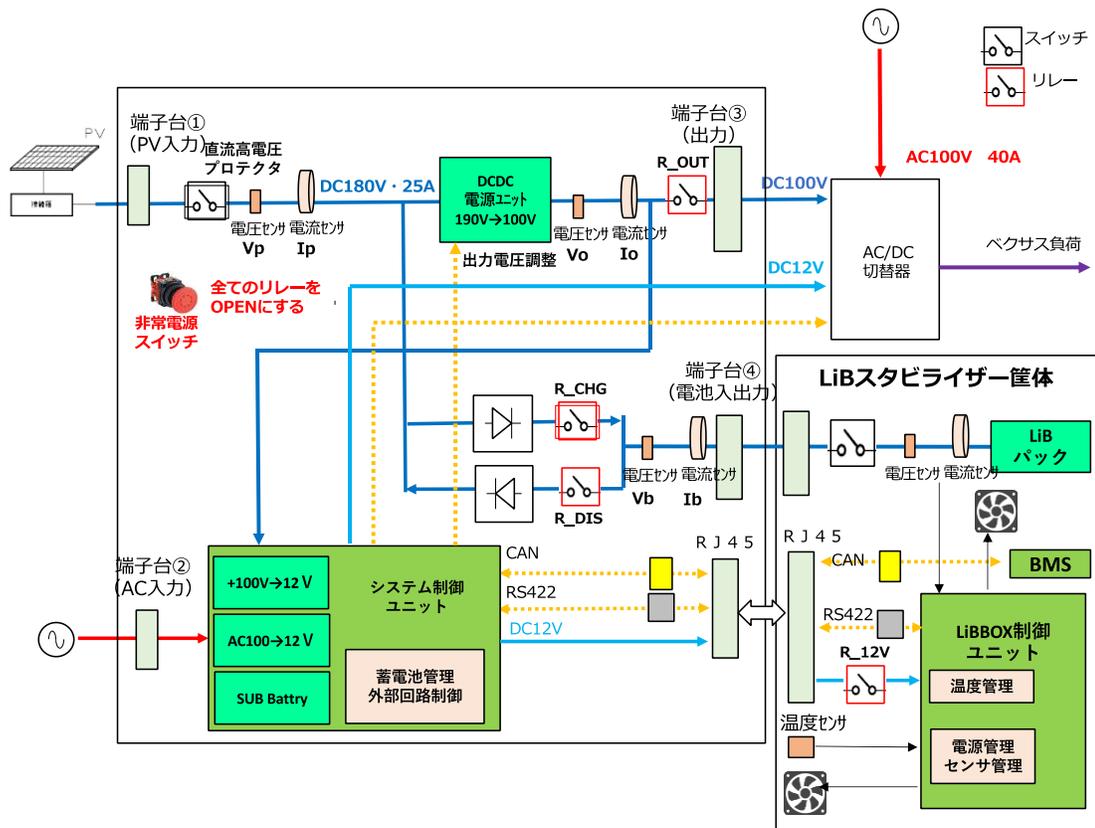


図 2-1-1-37. 制御システムユニット構成

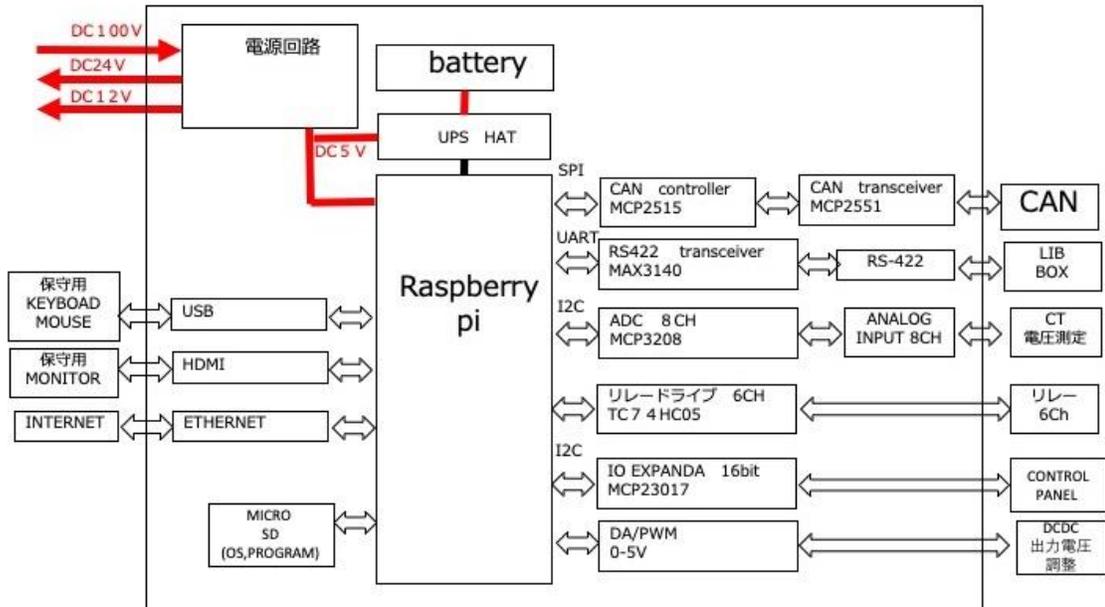


図 2-1-1-38. 筐体制御ユニット構成

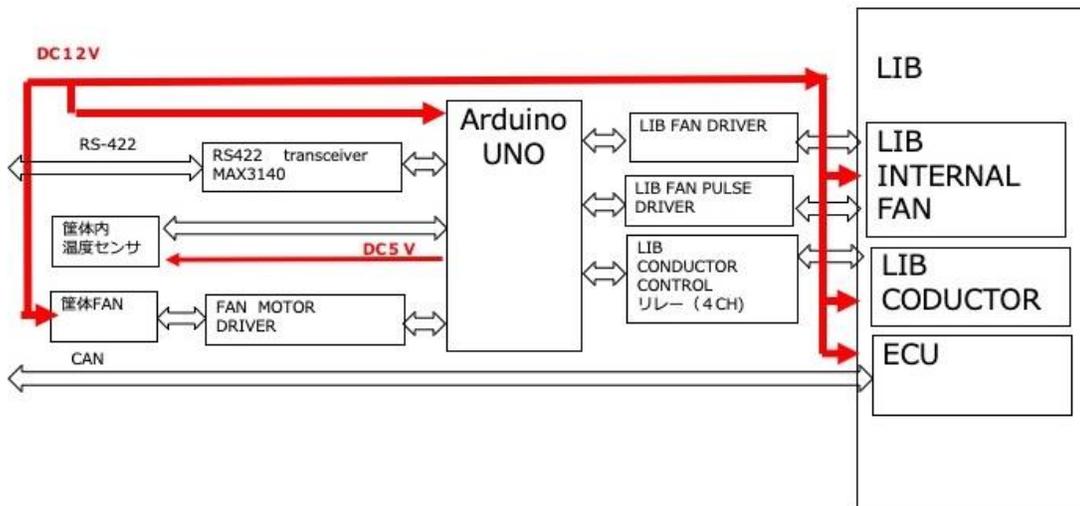


図 2-1-1-39. LiB スタビライザー制御装置外観

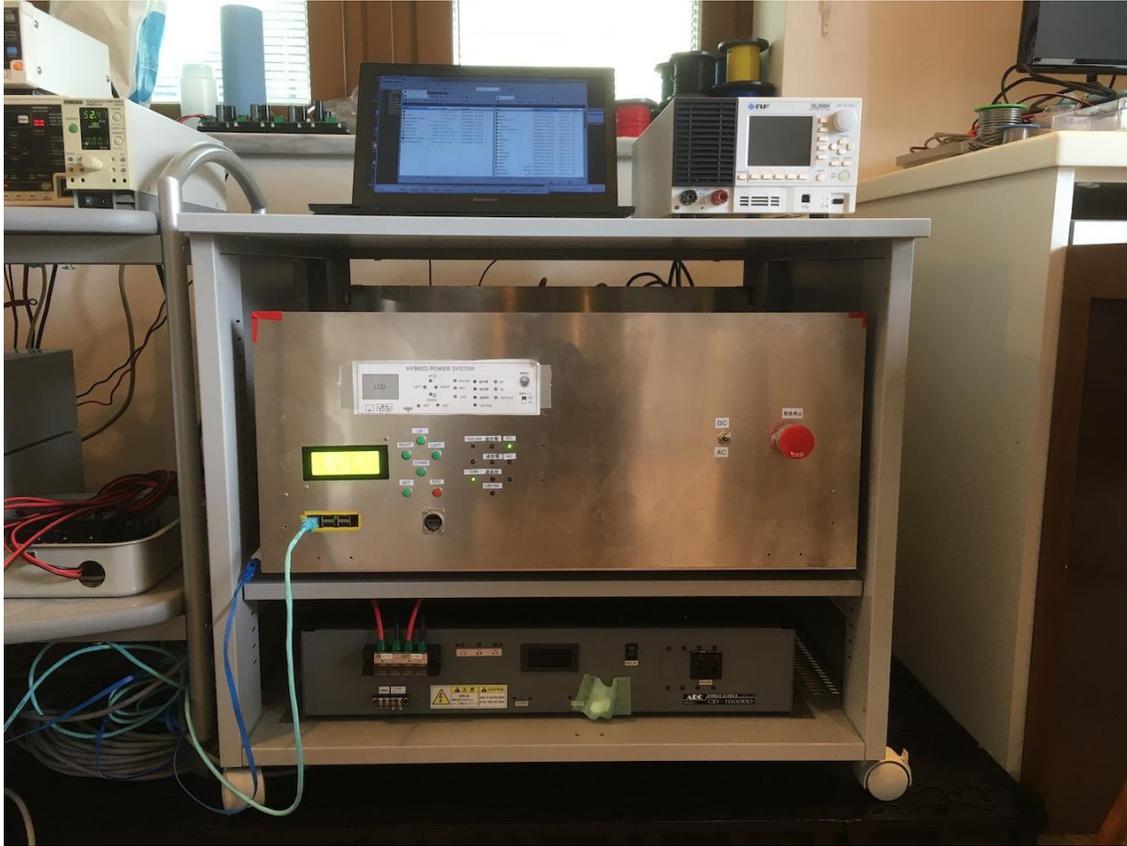


図 2-1-1-40. PV 発電電力(左)、負荷消費電力(右)

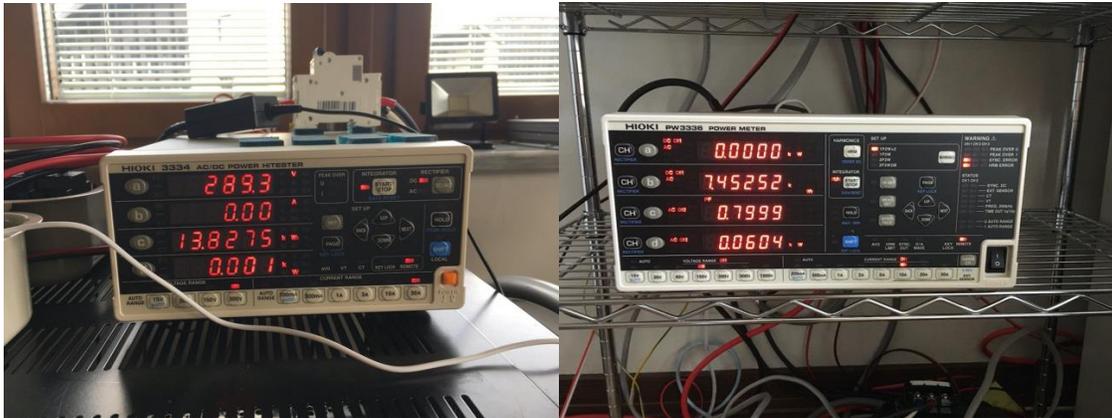


図 2-1-1-41. 外気温(左上)、筐体内温度(左下)、バッテリーセル表面温度(右上)、バッテリーパック表面温度(右下)



LiB スタビライザー筐体

前述した通り、本実証ではホンダフィット HV のリユースバッテリーをバッテリーパックのまま丸ごと利用するが、バッテリーパック自体は耐候性を持たないため、屋外設置用の LiB スタビライザー筐体を製作した。同バッテリーパックには車体に固定するためのネジ穴(4ヶ所)が付帯することから、これを利用してバッテリーパックを筐体に固定し、縦置き型とすることで設置スペースの節約を図った。

図 2-1-1-42. LiB スタビライザー筐体仕様

項目	諸元	備考
設置場所	屋外	
IP 規格	IP56	屋外設置分電盤レベルの設置環境を想定
材質	SPCC	IP 規格を満たすこと
塗装色	N-85	
耐荷重[kg]	100	
寸法[mm]	W:800 × H:1200 × D:500	

図 2-1-1-43. 屋外設置用 LiB スタビライザー筐体



実験住宅ベクサスへの LiB スタビライザー電カシステム実装

以上に述べた、ホンダフィット HV 用バッテリーパック、LiB スタビライザー制御装置、AC/DC 切替器付き試験用分電盤、LiB スタビライザー筐体を実験住宅ベクサスへ接続して LiB スタビライザー電カシステムの実証試験を行った。実証試験条件を表 2-1-1-44 に示す。

表 2-1-1-44.LiB スタビライザー電カシステムの実証試験条件

項目	内容	備考
ベクサス PV パネル	約 3kW(開放電圧:約 290V)	実測値
LiB 使用電圧範囲	145V~189V	推定 SOC:15%~70%
直流復帰設定電圧	160V	
負荷	LED 照明、TV、パソコン、IH クッキングヒーター	いずれも直流稼働確認済みの機器を使用
全実証試験期間	2019 年 12 月 15 日 ~2020 年 1 月 14 日	
24 時間連続運転試験	2020 年 1 月 8 日~1 月 14 日	主に LED 照明を連続点灯

図 2-1-1-45. ホンダフィット HV リユース LiB パック
(筐体固定状態)

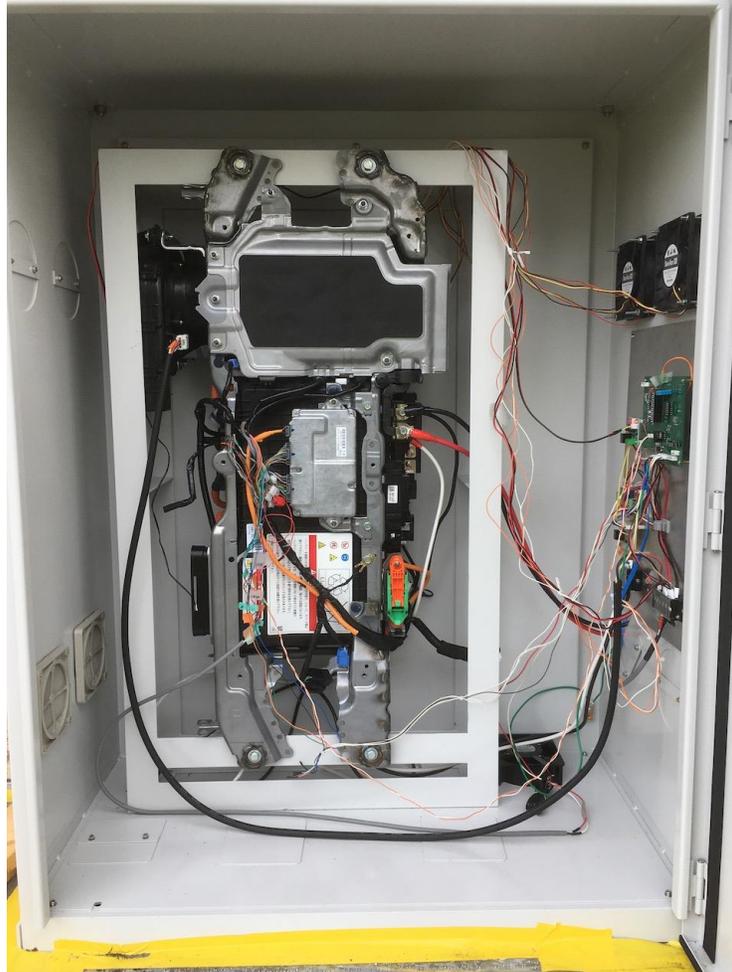


図 2-1-1-46. 実験住宅ベクサスの負荷



2-1-2.電力安定化機能の検証

LiB スタビライザー電力システムによる不安定電力の直流安定化機能について、実験住宅ベクサスの PV パネルと負荷を用い、実証試験を通して検証を行った。図 2-1-2-1 に 2019 年 12 月 17 日の電力状況を示す。同日は一日中曇天であり、PV 出力からもほとんど発電していないことが判る。午前 10 時試験開始から 11 時 40 分頃まで負荷には交流電力が供給されている。

日中 PV からのわずかな発電電力がバッテリーを充電して設定電圧を上回ったことで、11 時 40 分～12 時 7 分頃までは直流電力が供給され、その後再び交流電力に切り替わっている。同年 12 月 18 日の電力状況も示す。同日は曇り時々晴れの天候で、LiB スタビライザーによる電力安定化機能の検証には最も好ましい天候である。不安定な PV 発電電力に対して、負荷には一定の直流電力が供給されており、想定通りに電力の直流安定化が機能していることが判る。

同年 12 月 25 日の電力状況も示す。同日はほぼ一日中晴天が続き、比較的大きな負荷(常時 700W 以上)に対して、安定的に直流電力が供給されていることが判る。

図 2-1-2-1. 2019 年 12 月 17 日の電力状況

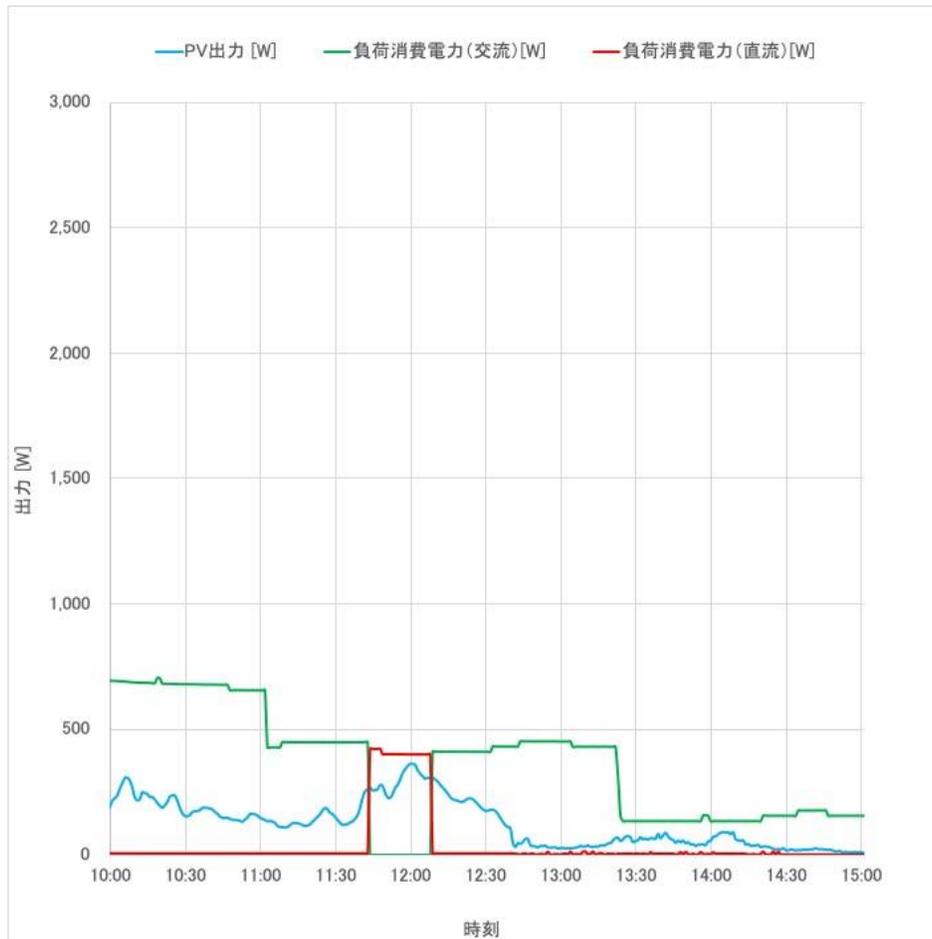


図 2-1-2-2. 2019 年 12 月 18 日の電力状況

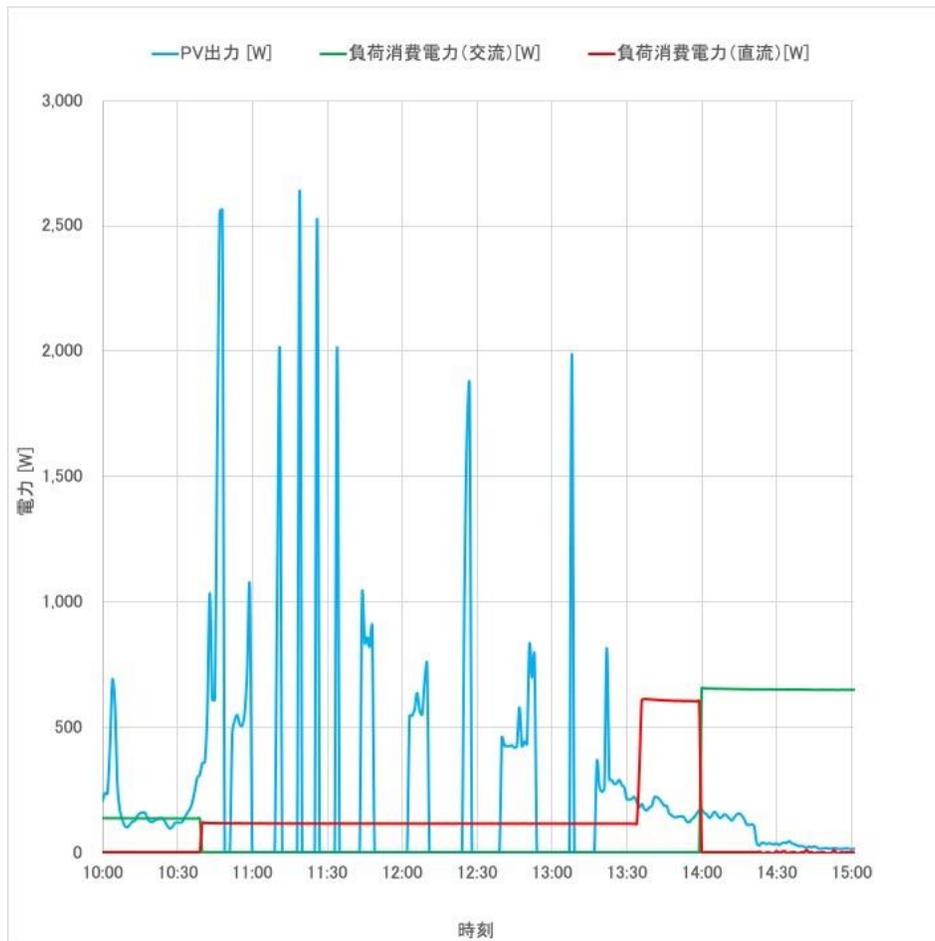
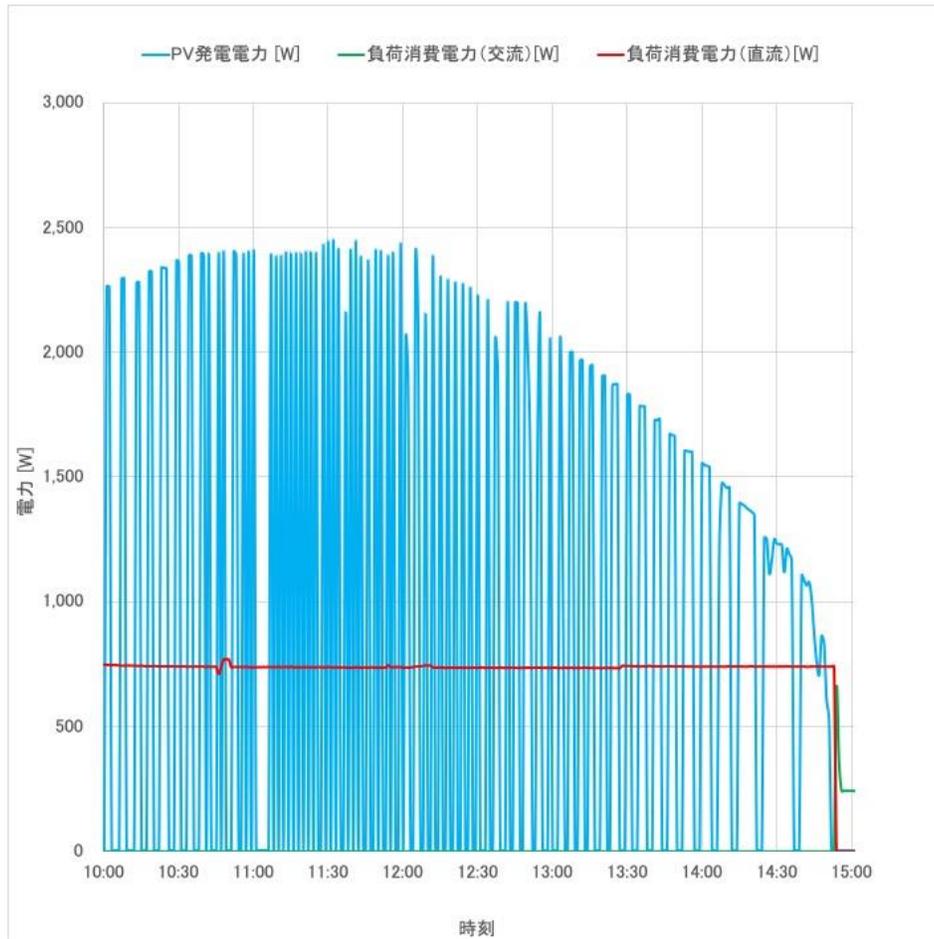


図 2-1-2-3. 2019 年 12 月 25 日の電力状況



2-1-3.安全性の検証

充電試験

前述した通り、ホンダフィット HV 用バッテリーパックは大きな C レート特性を有しており、単体で 20kW 以上の PV の直流安定化に対応できると予想する。しかし、本実証で使用する実験住宅ベクサスの PV パネルは約 3kW 程度の出力に留まり、現状では電力安定化のポテンシャルとその安全性の検証を行うことはできない。そこで直流安定化電源を用いて 30A(約 6C に相当)の定電流充電を行い、バッテリーセル表面温度及び筐体内温度を測定して、安全性の検証を行った。図 2-1-3-2.に充電試験結果を示す。15 時 11 分頃から充電を開始して同 17 分頃まで急速にバッテリーの電圧値が上昇し、それに伴ってバッテリーセル表面温度が上昇している。しかし、温度上昇は約 1°C 程度に留まり、筐体内温度への影響も認められないことから、本バッテリーパックは少なくとも 6C 程度の充放電に対しては全く問題なく、LiB スタビライザーとして安全に利用できるものと推定する。

図 2-1-3-1. 直流安定化電源

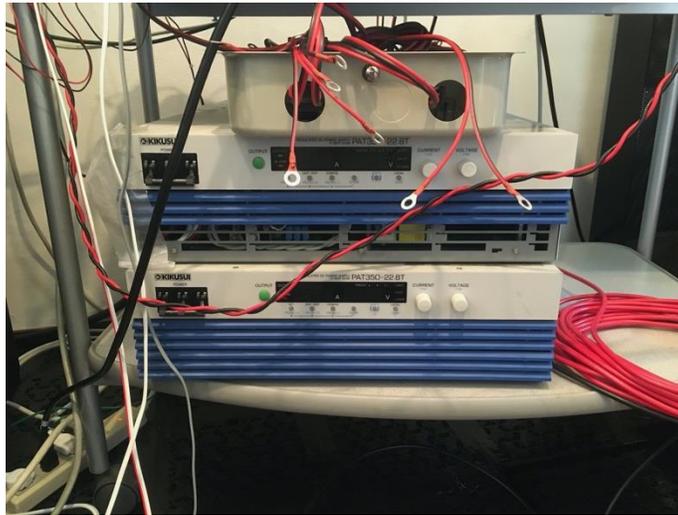
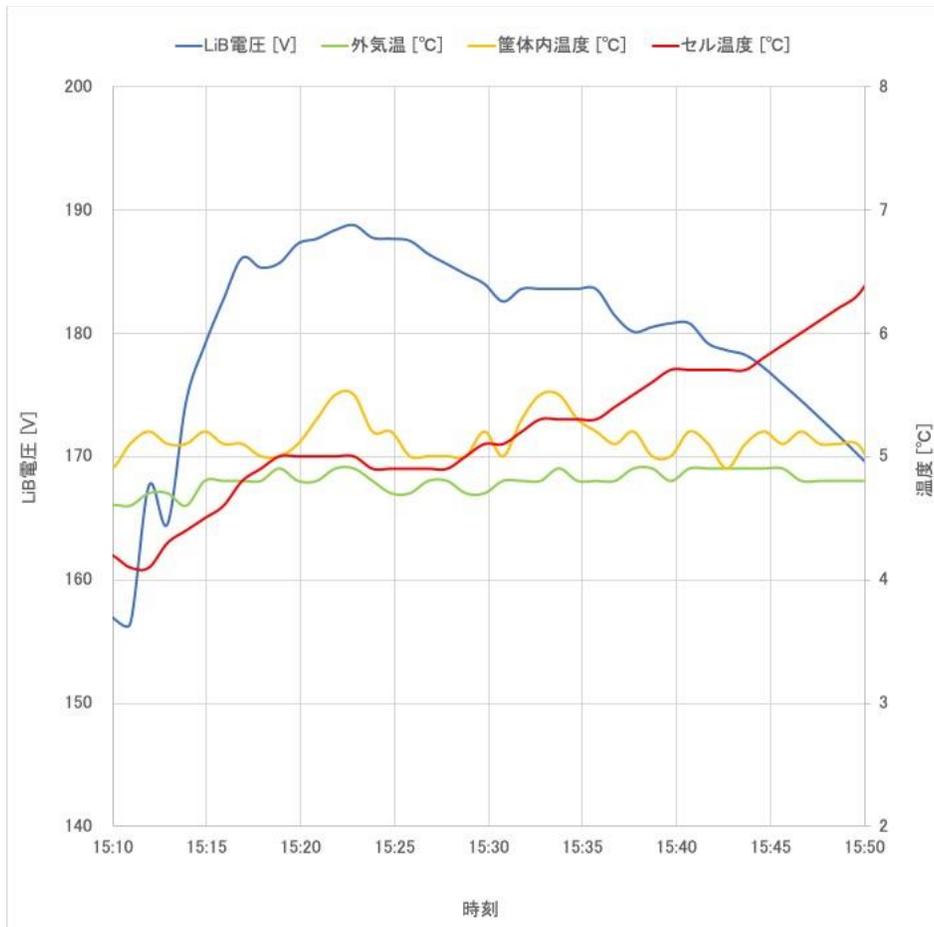


図 2-1-3-2. 直流安定化電源による LiB 充電試験



実証試験

先に示した実証試験における電力状況に温度データを重ねたグラフを示す。図 2-1-3-3 に、2019 年 12 月 17 日の電力状況と温度データを示す。直流給電が行われた間、バッテリーセル表面温度が 1°C 程度上昇しているが、筐体内温度はほぼ外気温のみ連動している。図 2-1-3-4 に同年 12 月 18 日の電力状況と温度データを示す。PV が発電と停止を繰り返し、且つ負荷に直流電力が供給されている間、バッテリーセル表面温度が上昇し続ける傾向が認められるが、外気温及び筐体内温度がセル表面温度よりも高く、筐体内環境との温度平衡の関連性を差し引いて判断する必要がある。一方、直流の負荷消費電力が増大する 13 時 35 分頃からは明らかにバッテリーセル表面温度が上昇していることが判る。しかし、ここでも筐体内温度は外気温のみに連動していると判断できる。図 2-1-3-5 に同年 12 月 25 日の電力状況と温度データを示す。終日晴天が続き、比較的大きな直流負荷電力を連続的に消費した場合、筐体内環境との温度平衡を差し引いてもバッテリーセル表面温度は明らかに上昇し、本実証では約 6°C 強の温度上昇が確認された。この場合でも筐体内温度はバッテリーセル表面温度の影響を受けず、LiB スタビライザーとしては安全に動作していることを検証した。

本実証試験では、制御装置のヒューズ(30A)やベクサスの PV 及び負荷の制約から、実際に充放電を行った電流値は限定されている。また、実証時期が気温の低い冬季間であったことも考慮する必要がある。しかし、本技術開発による LiB パックの使用方法は、一般的な HV の使用状況と比較して負担が小さく、且つ使用環境の変化も小さいものと推察する。今後、より大きな電力の充放電を行える環境で、夏季間に長期連続運転試験を行って実証確認する必要性等の課題はあるが、一般的な住宅用途に適用するには十分な安全性を担保できるものと推察する。

図 2-1-3-3. 2019 年 12 月 17 日の電力状況と温度データ

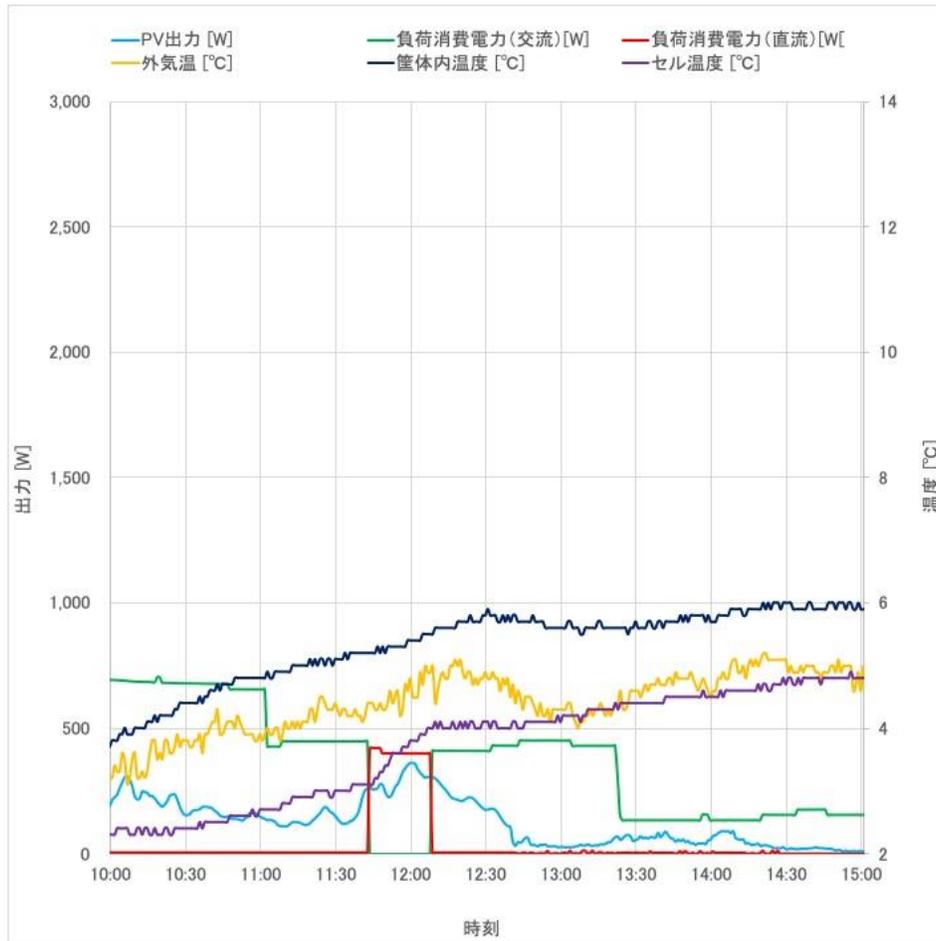


図 2-1-3-4. 2019 年 12 月 18 日の電力状況と温度データ

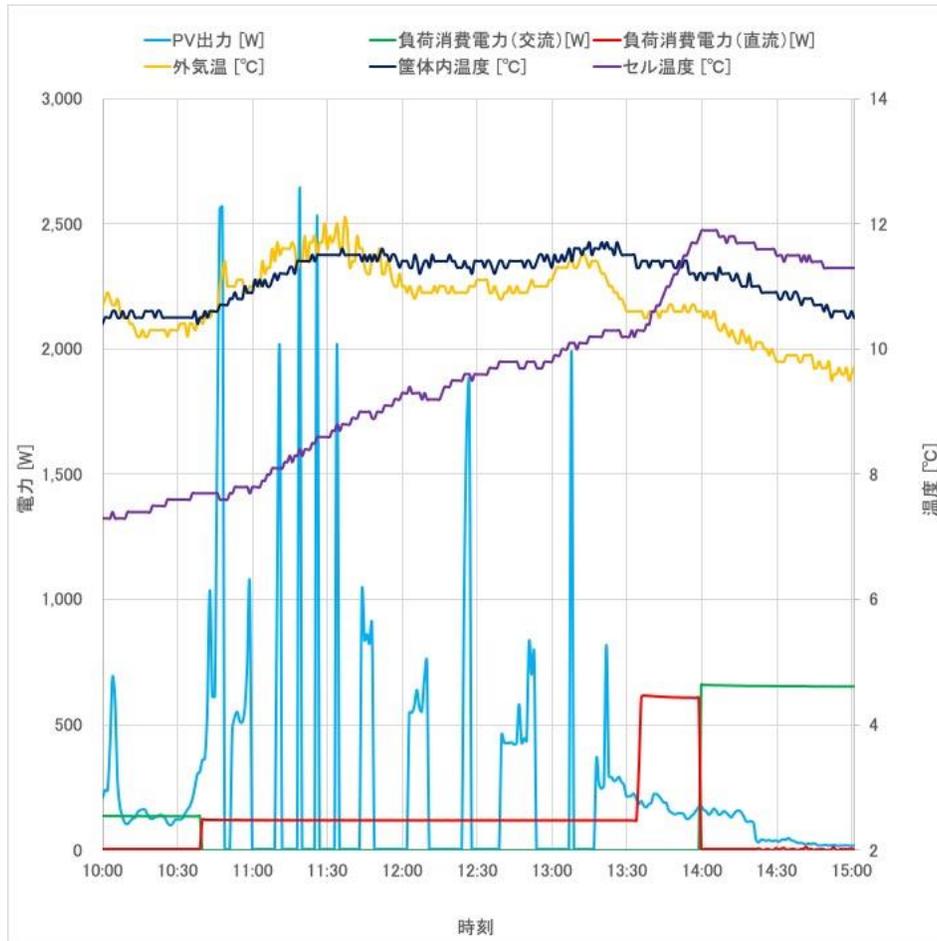
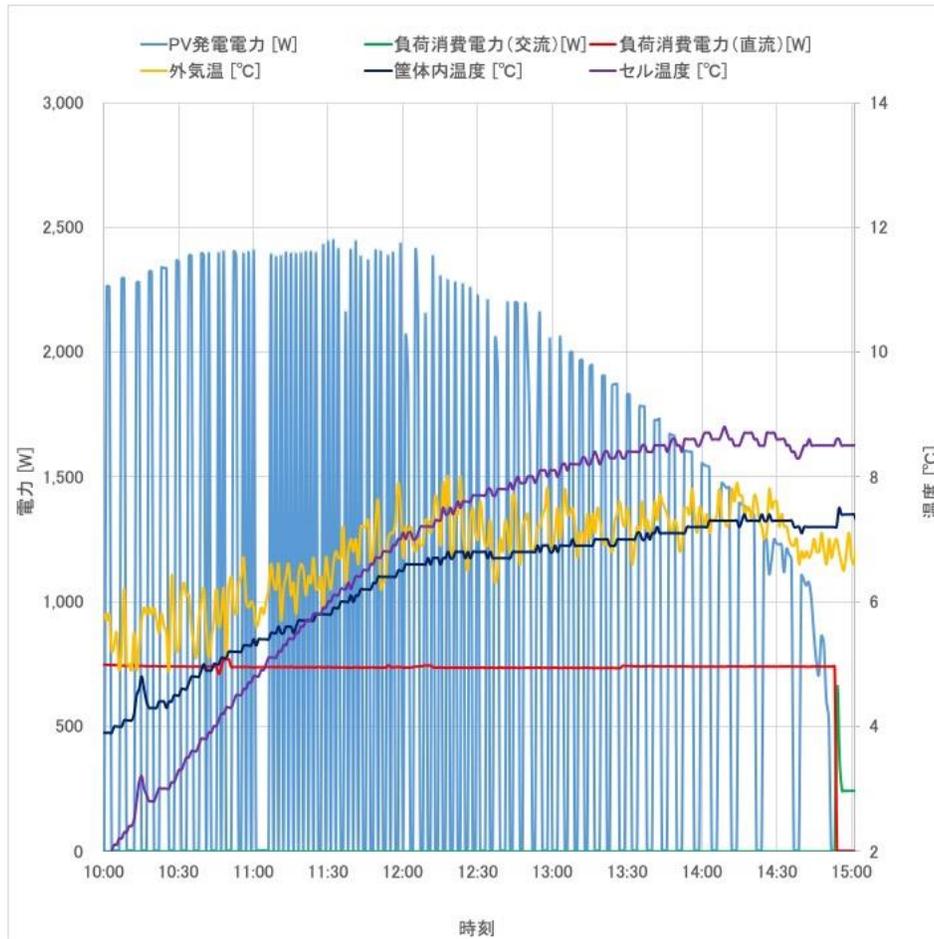


図 2-1-3-5. 2019 年 12 月 25 日の電力状況と温度データ



24 時間連続運転試験

前述した LiB スタビライザー電力システムの実証試験を通して、システムの安全性が一定程度確認されたことから、2020 年 1 月 8 日から同 14 日までの期間、無人で 24 時間連続の運転試験を行った。図 2-1-3-6 に同期間中の電力状況及び積算電力量をまとめて示す。本試験結果から、開発した LiB スタビライザー電力システムが想定通りに稼働し、PV が発電する日中はほぼ直流給電、夕方から翌朝方までは交流給電に切り替えながら、安全に運転できることが検証された。期間中の積算電力量は以下の通りである。

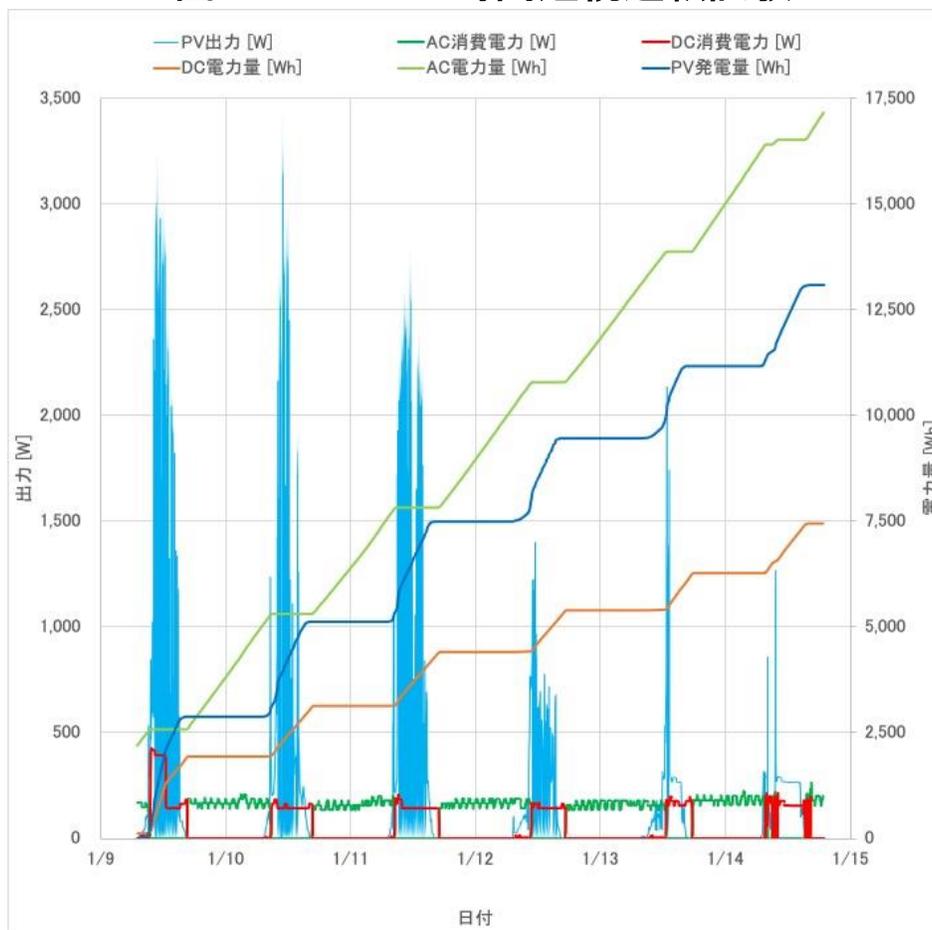
- PV 発電電力量: 13, 083kWh
- 直流消費電力量: 7, 446kWh
- 交流消費電力量: 16, 993kWh(力率: 81%程度)

PV 発電電力量と直流消費電力量の間にギャップがあるが、これは主に制御装置、DC コンバーター、冷却ファン等の消費電力(約 40W)といったシステムの自己消費に起因するものである。本連続運転試験では、安全性の観点から負荷をベクサスの LED 照明(約 150W 程度)に限定して行っており、これはシステムの自己消費に比して小さいため、見かけ上の効率が悪くなっている。

直流消費電力量は交流消費電力量に対して 43%程度であり、リユースバッテリーによる LiB スタビラ

イザー電力システムの導入によって、4割以上の電力量がPV電力の自己消費によって、節約可能であることが実証確認された。

図 2-1-3-6. 24 時間連続運転試験



力率

交流電力においては有効電力:P、無効電力:Q、皮相電力:Sがあり、本実証で測定している交流電力は有効電力によるものである。本実証で使用した負荷の力率は平均的に81%程度であり、これに対応する無効電力は発電所における発電量に対して無駄に失われている。一方、直流使用時は力率の問題がなく、発電電力の全てが有効電力として消費される。この点については本実証事業では力点を置いていないが、実際のエネルギー消費量や経済効果に対して、最もダイレクトに反映する効果の一つであることから、更なる検討と検証を行う必要がある。

2-1-4.簡易診断技術の確立

概要

二酸化炭素排出を低減するための方策として車業界においてはHV、EV、PHVなど複数種の動力システムが存在する。それら動力システムにはバッテリー(二次電池)の利用が必須である。1990年台に日本初のHVが上梓され、あらゆる車メーカー・車種において駆動システムにバッテリーは必須部品になりつつある。一般的に車載用バッテリーの使用寿命は10~15年程度(使用基準による)だと言われている。実際に現在において中古の車載用バッテリーが市場に大量に出回り始め、それら電池の活用方法が検討されている。

基本的に車載用バッテリーの再利用(リユース)においては、それらバッテリーの寿命性能を判断する必要がある。バッテリー(二次電池)は一般的に充放電特性よりその寿命特性(主にSOC(State of Charge)、SOH(State of Health))を判断するが、充放電特性測定による寿命評価はリードタイムが長い。この寿命特性の判断が中古バッテリーの市場への流通の足かせになる可能性が高い。そこで本事業では、車載用バッテリーのリユースに必要な寿命特性を短時間かつ簡便に判断するために、バッテリーのインピーダンス解析から得られる電池本来の電圧出力特性から寿命特性を判断する手法を提案する。

車載用バッテリーが検知できる入出力情報は端子電圧と電流のみであり、それら情報からバッテリーの充放電特性に係る寿命の状態推定を行わなくてはならない。バッテリーの発電メカニズムは電気化学的知識に則ったメカニズムによる第一原理的なモデリングだけでは説明しきれない程に複雑であり、バッテリーの状態推定を高精度に行うためには等価回路を用いたシステム同定のためのモデリングが一般的かつ必要不可欠である。そこでバッテリーの負荷特性を間接的に評価する手法としてインピーダンス評価をベースにした内部インピーダンスの解析からバッテリーのコアパーツであるモジュール^{*}(orセル)のSOC、SOH同定を検討する。本実証では、高容量な車載用バッテリーの寿命特性同定のために、以下のことを目指した。

- 高容量車載用バッテリーのインピーダンス解析手法の確立
- インピーダンス解析からバッテリーモジュール(セル)の寿命特性 SOC、SOH の同定技術の確立
- バッテリーの実際の充放電特性との相関性検証からバッテリー状態推定技術の高精度化

更には、車載用バッテリーの最小単位をモジュールにした場合の、モジュールが内蔵する各セルの状態バラツキ(=セルバランス)の把握も必要であり、

- モジュールのセルバランス評価解析法の基礎検討

の確立も併せて推進する。

※本実証で扱うモジュールとは、車載バッテリーのセット(=パック)に内蔵されるバッテリー(セル)とセル監視制御回路ユニット(CMU)の一体物を表す。

本技術開発の目的、内容及び成果

車載用バッテリーを低コストかつ効率的に利用するためには、バッテリーモジュールを組み上げたバッテリーマネジメントシステムを確立する必要がある。不特定多数の自動車(EV、HV、PHV)からバッテリーモジュールを再利用するためには、それらバッテリー(特に二次電池)を安定使用するために充放電性能を把握する必要がある。その初段階として各蓄電池の充放電特性を把握するためにSOC(State of Charge)、SOH(State of Health)を診断しなくてはならない。上述のパラメータはバッテリーの充放電特性に関する現状の性能を表す重要なパラメータであり、特性を厳密に数値化するためには満充電(放電完了)に関する情報が必要である。しかし高容量なバッテリーについて満充電および完全放電に費やす時間は長く、短時間でバッテリーの性能を把握することは不可能であった。そこで、本申請では車載用バッテリーの充放電性能を簡便かつ迅速に把握する方法として、電気化学的手法による第一原理モデリングと自動車に蓄積された充放電データ(CAN データ)を活用し、高精度な状態推定技術を提案する。以下に診断方法の提案について簡単に示す。

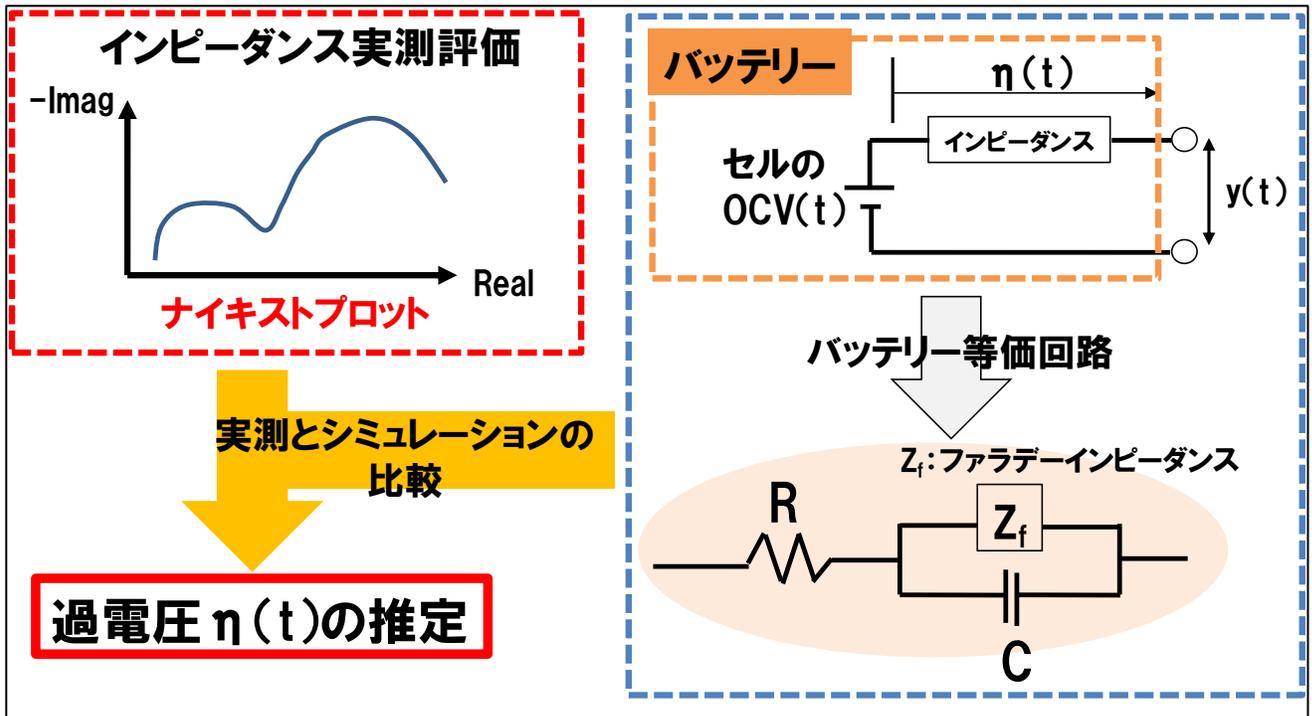
①SOC(State of Charge)診断手法の開発

1)電流積算とグレーボックスシステムのモデル化による状態推定

車載用バッテリーが検知できる入出力情報は端子電圧と電流のみであり、それら情報からバッテリーの状態推定を行わなくてはならない。バッテリーの発電メカニズムは電気化学的知識に則ったメカニズムによる第一原理的なモデリングだけでは説明しきれない程に複雑であり、バッテリーの状態推定を高精度に行うためには等価回路を用いたシステム同定のためのモデリングが必要である。検証するバッテリーをグレーボックスシステム、すなわちセル本体の出力に起因するOCV(開回路電圧)と内部インピーダンス成分に分離し、内部インピーダンスに起因する過電圧を求める。バッテリーの交流インピーダンス測定からナイキストプロット

(図2-1-3-7参照)が導出され、バッテリーを単純な等価回路に見立たシミュレーション計算と測定プロットの比較から、内部インピーダンスに関する情報を抽出する。バッテリー端子電圧は既知なため、過電圧との差分から開回路電圧が検出できる。OCVはSOCに依存し、OCV-SOC特性は電池の劣化度合いに関わらず不変であるため、インピーダンス特性が把握できればSOCは推定しやすいと考えられる。

図 2-1-4-1. バッテリー等価回路から過電圧 $\eta(t)$ の導出方法



1-1)内部インピーダンスのモデル化(等価回路化)

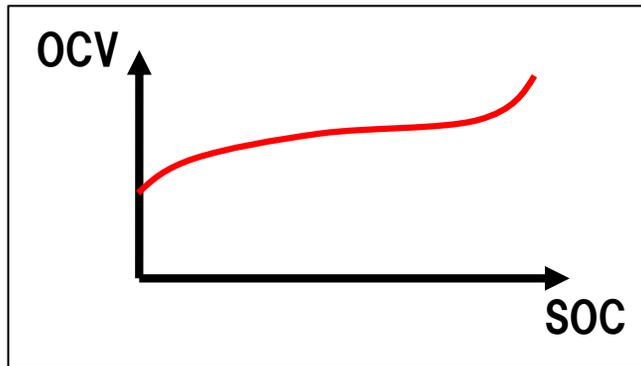
バッテリーモジュールの等価回路を図 2-1-4-1.に示す。ある時系列における端子電圧を $y(t)$ 、インピーダンスにかかる電圧(過電圧)を $\eta(t)$ とした場合、

$$y(t) = \text{OCV}(t) + \eta(t) \quad (\text{式 1})$$

$$\text{OCV}(t) = y(t) - \eta(t) \quad (\text{式 2})$$

(式 2)より OCV(t)を推定し図 2-1-4-2.より SOC を検出する。

図 2-1-4-2. OCV-SOC 特性の例



1-2)電流積算による SOC 推定

また SOC 検出精度の確認手法として、電流積算による SOC の算出も併せて試みる。バッテリーに入出力した電流 $i(t)$ から電荷量 $q(t)$ を求め(式 3)、自動車のシステムとやり取りして蓄積されたバッテリーの充放電に関する CAN データ(図 2-1-4-3.参照)を利用して $SOC(t_0)$ を推定し、実際にバッテリーに流れた電流から時系列 t における $SOC(t)$ を(式 4)から導出する。

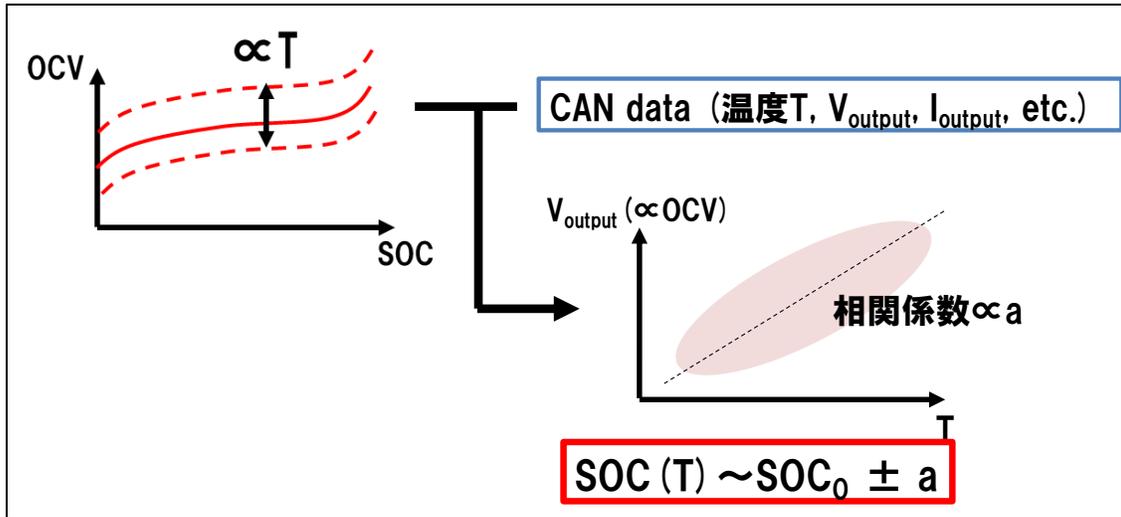
$$q(t) = \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau \quad (\text{式 3})$$

$$SOC(t) = SOC(t_0) + \frac{1}{FCC} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau \quad (\text{式 4})$$

FCC はある時系列 t における満充電容量を表す。本推定法は初期 $SOC(t_0)$ の情報誤差がそのまま $SOC(t)$ に反映されるため、あくまでも検証値として利用する。

なお、上記で導かれる SOC は理想状態(だいたい室温レベル)における寿命特性であり、実際は電池の温度および外部環境に依存して開回路電圧-SOC 相関性が揺らぐため、上述で得られる SOC と CAN データから得られる(はずの)温度、出力電圧履歴から SOC 解析精度をあげる必要がある。イメージを図 2-1-4-3.に示す。

図 2-1-4-3. OCV-SOC 相関温度揺らぎ補正 (イメージ)



2)技術開発の具体的項目および成果

車載用バッテリーモジュール(もしくはセル)のインピーダンス評価
 ナイキストプロットから内部インピーダンス解析および OCV の推定導出

2-1)車載用 12 セル直列モジュール(もしくはセル)のインピーダンス評価立ち上げ 1 パック 48 セル直列

目標

- 車載用バッテリーモジュール(セル)を評価するためのインピーダンス評価システムを検証する。
- HV 用途電池(容量:0.8~30kWh)についてインピーダンス評価を行う。

成果

モジュールについてインピーダンスを測定した(装置 Model 1260A(測定協力:東洋システム株式会社)、モジュール(ホンダフィット HV より抜粋)

図 2-1-4-4. インピーダンス測定装置

- ソーラトロン社製
- 測定周波数:0.01~0.1MHz



Model 1260A

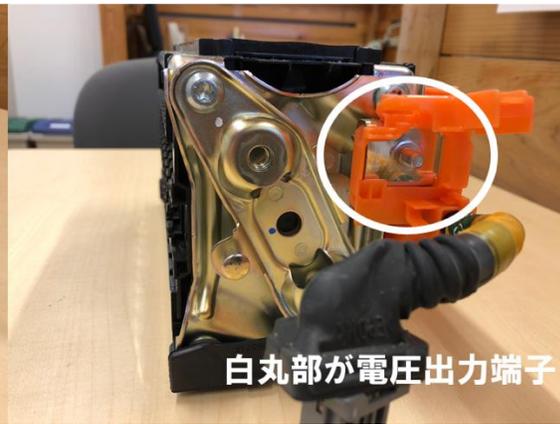
出所) <https://www.meidensha.co.jp/hkt/products> より抜粋

図 2-1-4-5. モジュール全体装置

モジュール全体



モジュール側面 端子部



2-2)インピーダンス評価から得られる内部インピーダンス解析および OCV の推定導出

目標

- 車載用バッテリーのモジュールから得られたインピーダンスデータより内部インピーダンスを解析し、モジュールに内蔵される 12 直列セルの開回路電圧 OCV 導出技術を確立する。
- HV 型電池(容量:0.8~30kWh)の OCV から SOC を導出する。

成果

パックより抽出したモジュールの出力を充放電で任意に制御し、その際に得られる充放電カーブから算出した SOC とインピーダンス測定から得られる 12 直列セルの開回路電圧 OCV の相関を評価した。モジュールの出力電圧が 37.5/40/42.5/45/47.5/50V になるよう充放電制御し、それぞれの出力電圧におけるインピーダンス特性から OCV を測定している。なお、インピーダンス測定ではモジュール全体の交流抵抗成分を測定するため、内包する各セルの出力バラツキは加味されない。今回はモジュール

ル内のセル 12 個は全て同じ SOC および容量を有するものと仮定した。図 2-1-4-6 に示す OCV-SOC 特性はホンダより提供されたパック出力電圧から算出した 1 モジュールあたりの出力電圧-SOC 特性と、モジュールの当該インピーダンス評価から得られた 12 直列セル部分のみの出力電圧(本測定では OCV とする)と充放電特性より算出した SOC の特性曲線を比較した。

**図 2-1-4-6.モジュールの出力電圧 vs インピーダンス
Cole-cole プロット測定結果**

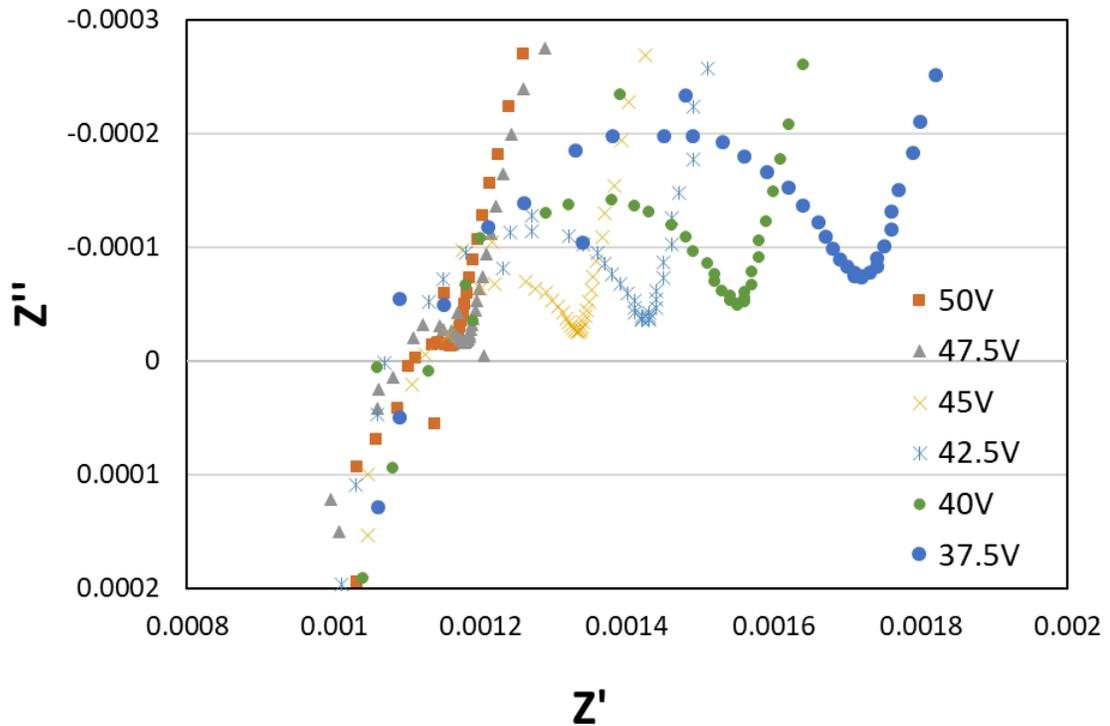
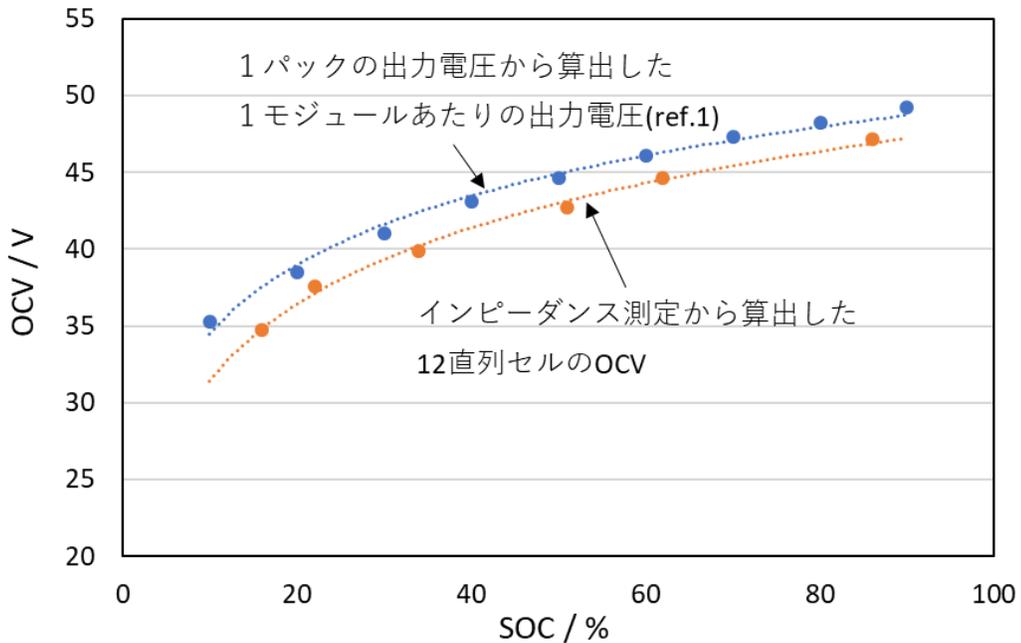


図 2-1-4-7. OCV-SOC 特性曲線



(※ref.1 ホンダフィット HV 搭載電池パックの出力電圧-セル SOC データから抽出)

以上の評価結果より、モジュールにおける SOC はインピーダンス評価より推測することが可能であると判明した。今後は、パック状態でのインピーダンス評価装置を立ち上げ、モジュールに解体せずに SOC を評価する必要がある。

②SOH(State of Health)診断手法の開発

SOH は初期の満充電容量から使用時間に従って緩やかに単調減少する。OCV 情報と充放電履歴、高温暴露時間など温度履歴、仕様経過年数を車載バッテリーパッケージの CAN データ(システム概略ブロック図を図 2-1-4-8.に示す)から抽出し、そこから直近の満充電容量(FCC)を算出する。バッテリーメーカーから指標化された従来の満充電容量規格値(FCC₀)との比からサイクル寿命に依存する SOH の導出することが可能である。

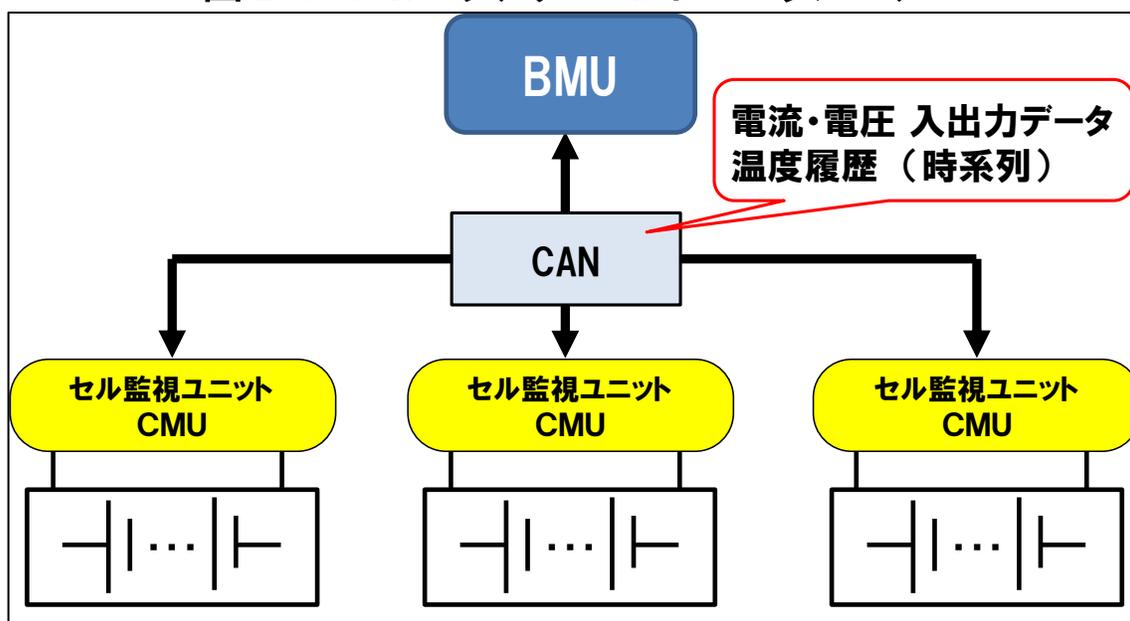
二次電池の場合カレンダー寿命による充放電容量の劣化が存在し、主に活物質表面への SEI 生成によるイオンのブロッキングが原因である。劣化度(=1-SOH)はカレンダー寿命による劣化速度係数を k_c と表した場合、時間に関して \sqrt{t} に比例し、OCV 情報に対しべき乗則に依存する(式 5、6)。

$$\text{劣化度} = 1 - \text{SOH} = k_c t^{0.5} \quad (\text{式 5})$$

$$\propto \left(\frac{\Delta \text{OCV}}{\text{OCV}} \right)^\alpha \quad (\text{式 6})$$

(式 6)より、 ΔOCV は電圧ストレス=OCV シフト分を表す。べき乗数 α は複数のバッテリーの使用状況をもとに統計的に収集したバッテリーの実績データ群をもとに決定する。

図 2-1-4-8. バッテリーコントローラシステム



技術開発の具体的内容および成果

モジュールの充放電測定から得られる SOH と駆動時間 (走行距離) の相関性評価
劣化速度係数の導出

1 モジュールの充放電測定から得られる SOH と駆動時間 (走行距離) の相関性評価

目標

- セル単体および充放電評価 SOH の評価

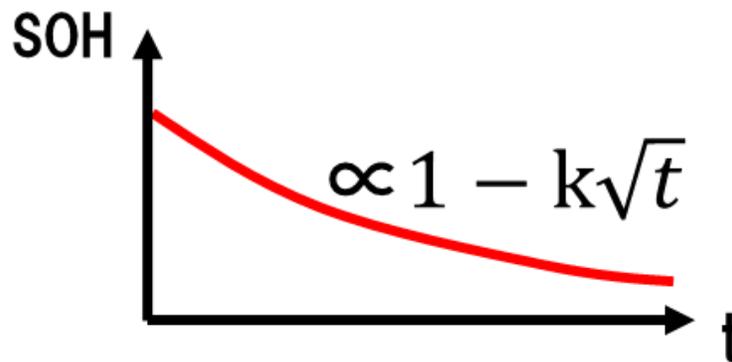
成果

SOH は直近の満充電容量 (FCC) と満充電容量規格値 (FCC₀) との比で求められる。当該モジュールの FCC₀ は規格値 0.86kWh/1 パック (=4 モジュール) であり、モジュール単体の満充電容量は約 0.22kWh である。本検証で使用したモジュールは既に車載されていた中古品であり、各モジュールの満充電容量および各モジュールの SOH は表 2-1-4-9. のとおりであった。表 2-1-3-15 の reference は車載前の単一セルの満充電容量である。1 モジュールに 12 個のセルが直列していることより単純計算すると、0.25kWh 程度の充電能力を有することがわかる。よって、満充電容量値の扱いで SOH が異なるが、モジュールの充放電特性より SOH を検出することは可能である。評価サンプルの駆動時間実績と SOH より表 2-1-4-10. ような曲線を得ることが期待される。減衰係数 k が導出されることで、駆動時間に関する情報を CAN データより抽出できれば、簡便に SOH が推測できる。

表 2-1-4-9.モジュールサンプルの満充電容量と SOH 算出値

	満充電容量(kWh)	SOH(%)
Sample 1	0.161	73
Sample 2	0.180	82
Sample 3	0.143	65
Sample 4	0.141	64
Sample 5	0.159	72
Sample 6	0.179	81
reference	0.021	

図 2-1-4-10.駆動時間と SOH の相関曲線(イメージ)



以上の結果より、SOC および SOH を簡便に評価するための基礎技術を見出すことに成功した。今後は車載電池パックのインピーダンス評価法の確立、および駆動時間—SOH 曲線のデータ蓄積が必要である。また、今回の検証はパックに組み込まれているセルが同性能の充放電特性を有する仮定の下で測定した。実際はセルごとに特性のばらつきがあるものと推測されるため、セルの充放電特性バラツキを考慮した SOC、SOH 評価手法の確立を推進していく。

以下は上記 a および b の評価法が確立した後に検討する。
(Appendix)

③モジュールを構成するセルの寿命特性バラツキ診断手法の開発

モジュール内部にはセルが複数個直列もしくは並列に設置されている。それら各セルの経時的な出力特性の劣化は同レベルで劣化するよう設計されているが、イレギュラーに急速劣化するセルが混在することはあり得る。その場合、モジュール全体の出力特性はイレギュラーに劣化したセルが要因となり他のモジュールに比べ急速に劣化することが予測される。そこで各セルの性能を確認するために充放電性能を全数検査する必要があるが、我々はモジュールユニットのインピーダンス評価で出力が劣化したセルがどの程度混在するか、さらにどの程度出力(SOC、SOH)が劣化しているか判断する計測手法を検討する。

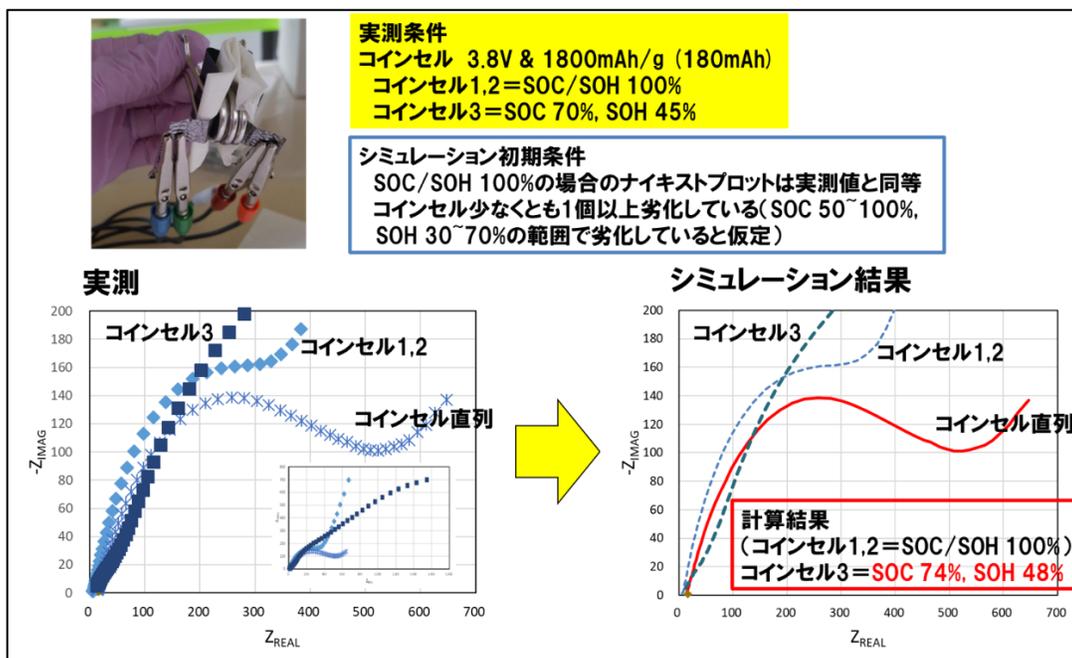
基本的な計測ツールとしてインピーダンス計測がベースになるが、その計測結果(ナイキストプロット)から等価回路シミュレーションを用い各セルのインピーダンス特性を推測する。その際に等価回路に使用する LCR 成分について現実的な範囲で各値の上下制限約を施し、モンテカルロ法を用いて各セルのインピーダンス成分を求めるシミュレーションを検討する。

そこで計算の実例として、コインセル 3 個を用いたシミュレーションの検証結果概要を図 2-1-4-11 に示す。コインセルの電極構成は[Si 負極/セパレーター/LiCoO₂ 正極]である。2 個のコインセルは試作時の初期満充電を保持し、1 個のみわざと充放電特性を劣化させたコインセルを混ぜてシミュレーションを行った。シミュレーション計算のための初期条件(計算するための約束事)として、

- 当該コインセルの SOC/SOH=100%の場合のナイキストプロットは既知である
- 当該検証においてコインセルが少なくとも 1 個以上劣化している
- 劣化度合いは SOC=50~100%、SOH=30~70%の範囲で劣化している

と仮定した。計算の結果、コインセル 1 個について劣化が進行しているシミュレーション結果を導出することに成功し、この手法をベースに高容量タイプの車載用バッテリーについて横展開を実施し、本シミュレーション手法の有用性を検証していく。

図 2-1-4-11. コインセルのインピーダンス特性実測値とシミュレーション計算結果比較



今後の技術開発の内容

車載用バッテリーに準じたテストセルのインピーダンス評価
等価回路によるセルばらつきの解析および車載用バッテリーによる再現性検証

1)車載用バッテリーに準じたテストセルのインピーダンス評価

目標

- 車載用バッテリーに準じたテストセルの試作設計および試作・初期評価を行う。
- テストセルで疑似的な車載用バッテリーモジュールを組み、それらのインピーダンス評価から疑似モジュール内のセル間の特性バラツキから車載用バッテリーの実セルの特性バラツキをシミュレーションできるか検証する。

2)等価回路によるセルばらつきの解析および車載用二次電池による再現性検証

目標

- テストセルによる疑似モジュールから得たインピーダンス結果(ナイキストプロット)を基に、等価回路成分を同定するためのモンテカルロ法をベースにしたシミュレーションアルゴリズムの基礎確立を行う。
- 車載用バッテリーの実モジュールからセル間の特性バラツキをシミュレーションで検証する。

2-2.事業化に向けた技術開発

2-2-1.調査概要

2-1 では、LIB スタビライザーを製品化する上で最低限必要となる基礎技術の開発を進めた。2-2 では、事業化を見据えて、顧客ニーズに合致した製品を開発するために必要となるであろう今後の技術開発要件を抽出した上で解決方針を検討した。

技術要件の抽出に向けて、太陽光発電システム用 PCS に要求する機能に関する意見を収集すべく、実際に太陽光発電システムの販売を担当している、販売代理店およびハウスメーカーに対してヒアリング調査を実施した。以下に調査概要を示す。

<事業化に向けた技術開発項目に関するヒアリング調査>

調査対象:

住宅用太陽光発電システムの販売を担当する販売代理店/ハウスメーカー、計 10 社、各社における太陽光発電システムの販売を担当する部署より複数名

調査実施期間:

令和 1 年 7 月 17 日～11 月 1 日

調査方法:

複数名によるヒアリング調査

調査項目:

LIB スタビライザーを事業化することを想定した場合に開発が必要となる技術要件

2-2-2.事業化に向けた技術開発要件

上記のヒアリング調査を通じて得られた結果を踏まえて、事業化に向けて技術開発が必要となる項目を抽出した。以下の①～⑥に詳細を記載する。

① 周波数調整機能

太陽光発電システムは、FIT 制度により、発電余剰分を売電して収益を得ることが出来る。一方で、発電余剰分を売電することが出来ない場合、余った電気は捨てることになってしまう。そのため、現在販売されている太陽光発電システムには、売電機能、および、売電機能の実装に向けた周波数調整機能が標準で装備されている。

しかし、現在、LIB スタビライザー単体では、売電機能の実現に必要な周波数調整機能を実装できていない。ヒアリング調査では、「販売価格が安いと見れば安いと説明されたとしても、通常であれば売却できる電気を捨てるよりも良いと考える顧客はいないだろう。そのため、弊社が取り扱うと考えた場合、売電機能は必須である。」というご意見を頂戴している。今後、周波数調整機能の実現が必須だが、周波数調整機能を実現するための専用機器を併設した場合、コストが増加してしまうことが懸念されるため、如何に安価な方法で周波数調整機能を実装するか検討する必要がある。

③ 既製品との接続互換性

詳細は 3 章で後述するが、本製品の事業モデルでは、既に設置されている太陽光発電用 PCS を交換する際に発生する需要の獲得を狙っている。そのため、他メーカーが製造・設置した PCS と交換することが前提となる。上記を前提とした場合、販売代理店へヒアリングした際に、「既存メーカーの PCS と交換する場合、パネルの配列変更を伴うとすれば、膨大な工事費が発生してしまう。そのため、商品化する際には、ターゲットとなる他メーカーの既存 PCS と対応電圧などを合わせておくべきである」という意見を頂いた。そのため、現在のメーカーシェア等を元に、交換ターゲットとなる他メーカーを選定した上で、既存製品と同様の仕様に設計することが必要である。

④ LIB スタビライザー残存寿命の客観的評価技術

本製品は、廃棄車両から抽出した車載バッテリーをリユースすることで製造する製品である。そのため、販売代理店や消費者としては、本製品に対して壊れやすいのではないかと不安感を抱いているため、本製品を事業化する上では、販売代理店や消費者の不安感を払拭する必要がある。そこで、製品保証の充実化、リース形式での販売などの方法が考えられる。しかし、製品の耐久性に対する客観的な評価がなく、いつ壊れるかの想定が難しいため、価格の設定が困難である。

販売代理店へのヒアリングでは、例えば、「メーカーの PCS は保証体系が確立しているので、製品が故障した際に、販社が顧客とやり取りする手間が省ける。そのため、メーカーの PCS は安心して販売できる」という意見が多かった。保証体系を設計するために、製品信頼性に関する客観的な評価が必要である。

⑤ 縦置き設置を前提とした筐体設計

既に設置されている太陽光発電用 PCS との置き換え需要の獲得を狙う場合、工事費用を抑えることは重要なポイントである。販売代理店へのヒアリングでは、例えば、「基礎打ちを行うと設置費用がかさんでしまう。自動販売機のような形で設置できれば十分ではないか。」等のように、屋外に縦置きで設置できる筐体を設計すべきであるという意見が多かった。

そのため、太陽光発電用 PCS の設置工事費を抑えるために、自動販売機のように基礎工事を必要としない縦置きでの設置を前提として製品を設計する。なお、屋外に壁掛けしていた太陽光発電用 PCS を、屋外縦置きに変更する際、配線を伸ばす必要が発生するケースがあるが、配線を伸ばす際に工事費が発生するため、考慮する必要があるという指摘も多かった。

⑤ 防災機能(に対する評価)

LIB スタビライザーは、一般的な PCS とは異なり、0.86kWh と僅かながらストレージ機能を保有している。PCS としては本来不必要な機能ではあるが、緊急時の防災機能としてアピールすることができれば、販売時の訴求ポイントとなりうるのではないかと考えた。

しかし、ヒアリングの結果では、「0.86kWh を防災用に活用しようとしても、すぐになくなるのではないか」「最低でも 3kWh はなければ、防災機能を押し出すことは難しい。」という意見が多く、防災機能としての期待値は低かった。一方で、特に防災機能に対するニーズの高い冷蔵庫や暖房器具を緊急時に何時間稼働させることができるのかという売り文句を設計することができれば、必要とするニーズを掘り起こせる可能性があるのではないかと、という意見があった。

⑥ 瞬停対応

太陽光発電システムで発電した電力を活用した場合、太陽が出ていない時間帯は系統電源から電力を購入する必要がある。現在、本製品は、太陽光発電システムと系統電源を切り替えた際に、瞬間的な停電(以下、瞬停)が発生することが分かっている。実証実験の結果、瞬停の時間は約 50 ミリ秒以内であるため、一般の電子機器は問題なく活用することができる。

一方で、LED 照明などは、瞬停の度に、一瞬ではあるが、目で確認できるほど照明が消えてしまった。販売代理店には、「一般の PCS では発生しないため、消費者に進めることは難しい」と指摘されている。今後、技術実証を重ねることで、瞬停の解決に取り組む必要がある。

2-2-3. デジタルインバータ技術の活用検討

研究背景

現在、HV 用バッテリーは、EV/PHV 用バッテリーに比べて多くの回収量が見込まれる一方で、1 台当たりの容量が少ないため、ストレージ用としては活用しにくく、リユースの事業化が進んでいない。一方で、太陽光発電システムに搭載されている PCS は、発電を維持するために不可欠な機器であるが、10 年程度を目処に交換が必要となっている。

そこで、次世代自動車を抱える HV 用バッテリーの有効なリユース方法の探索」とエネルギー業界が抱える「太陽光発電システムの安価なパワーコンディショナー（以下、PCS）代替の実現」の両方を解決することを目指し、本実証では、HV 用バッテリーを使った LiB スタビライザーによる安価な PCS 代替技術の検証と、同技術による事業化計画の検討を行うことを目的とする。

再生可能エネルギーが次々と導入されている現在の電力市場では、デジタル化技術が重要になってきている。現状の電力系統は、逆潮流による余剰電力発生の問題や、周波数調整力不足の問題があるため、再生可能エネルギーの導入に限界がある。その問題を解決するために様々な分散型電源に接続した各需要家の要望に応じて電力融通を行い、電力の需給バランスを自動的に制御する必要がある。そこで LiB スタビライザー技術の汎用性を向上し、直流負荷だけでなく交流負荷へも簡易に電力を供給でき、系統と連係し電力を融通するために LiB スタビライザーのインタフェースにインバータ技術を組み込みが必要であり、電力を自由に制御できるデジタル多機能なインバータを目指した検証が必要である。

従来のインバータには用途ごとに対して専用のハードウェアやソフトウェアが設計されるので開発時間や費用がかかり、同一の装置内に複数のインバータを組み合わせるのは困難だった。一方、デジタル多機能なインバータは標準化された全く同じのハードウェアでデジタル制御ソフトウェアだけで様々な機能を実現でき、インバータの開発時間や費用の短縮が期待できる。

実証概要

①インバータの制御アルゴリズムを開発し、シミュレーションによりインバータを用いた LiB スタビライザーシステムが直流や交流負荷の両方へ安定に電力の供給できることを確認する。また LiB スタビライザーシステムにより系統に連係した太陽光発電の出力を安定することや他の使用ケースを確認する。

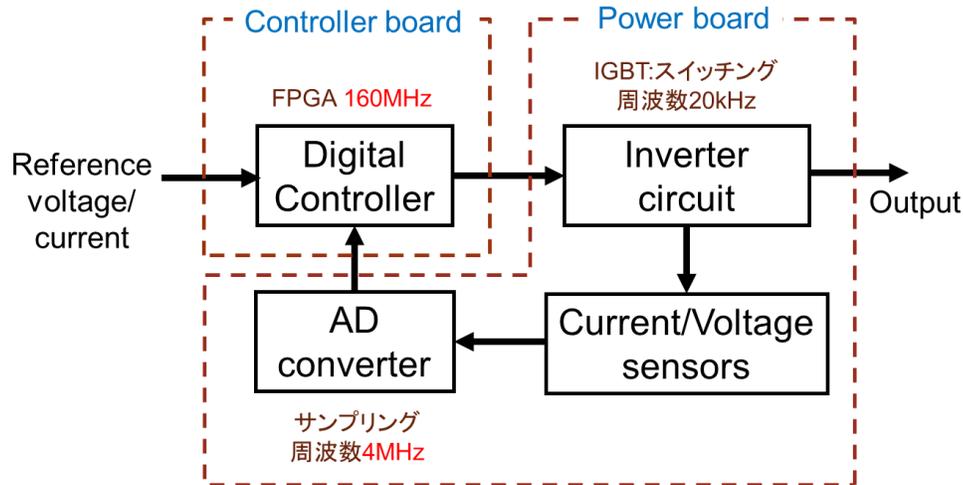
②1kW の定格出力を持つデジタル多機能なインバータのプロトタイプを製作し、太陽光発電やバッテリーの模擬電源を用いて上記の動作を確認する。

実証の結果

①インバータのデジタル制御システム

インバータのデジタル制御システムは図 2-2-3-1 のように示される。アナログ・デジタル変換器によりインバータから測定された電流・電圧をデジタル信号に変換し、デジタル制御器によって制御アルゴリズムを実行する。

図 2-2-3-1. インバータのデジタル制御システム



インバータのデジタル制御において、よく知られているものにパルス幅変調(PWM)制御方法がある。出力したい電圧を搬送波と比較するPWM方法は、ゼロ点検出、位相検出回路、比例・積分(PI)レギュレータなどアナログ回路で確立された概念を使用するためデジタル制御と言ってもアナログ理論を計算機で実装したに過ぎない。本研究は従来のPWM制御方法と異なる高速なデジタル適応バンド幅ヒステリシス制御を提案した。計測された電流と計算された電流バンドの比較に基づいたヒステリシス制御は外部電気回路の情報が不要となり、単純な構造で安定かつ高速な応答を実現できる。この方法では数式の計算結果により制御できるため汎用性が高く、直流・交流、系統連系、自立運転など機能が異なったり、小型から大型まで出力が異なったりするインバータに対しても同一の制御器で汎用的な制御を実現できる。

②LiB スタビライザーとデジタルインバータのシミュレーションシステム

MATLAB の Simulink というソフトウェアを用いて図 2-2-3-2.のように LiB スタビライザーやデジタルインバータと組み合わせたシステムのシミュレーションを作成した。LiB スタビライザーにより太陽光発電の出力を安定化できることが確認できた(図 2-2-3-3.)。

LiB スタビライザーの出力電圧がバッテリーの直流電圧に依存するがデジタルインバータと組み合わせることによって負荷へ任意の交流・直流電圧へ供給できることが確認できた(図 2-2-3-4.と図 2-2-3-5.)。

図 2-2-3-2. LiB スタビライザーと
デジタルインバータのシミュレーションシステム

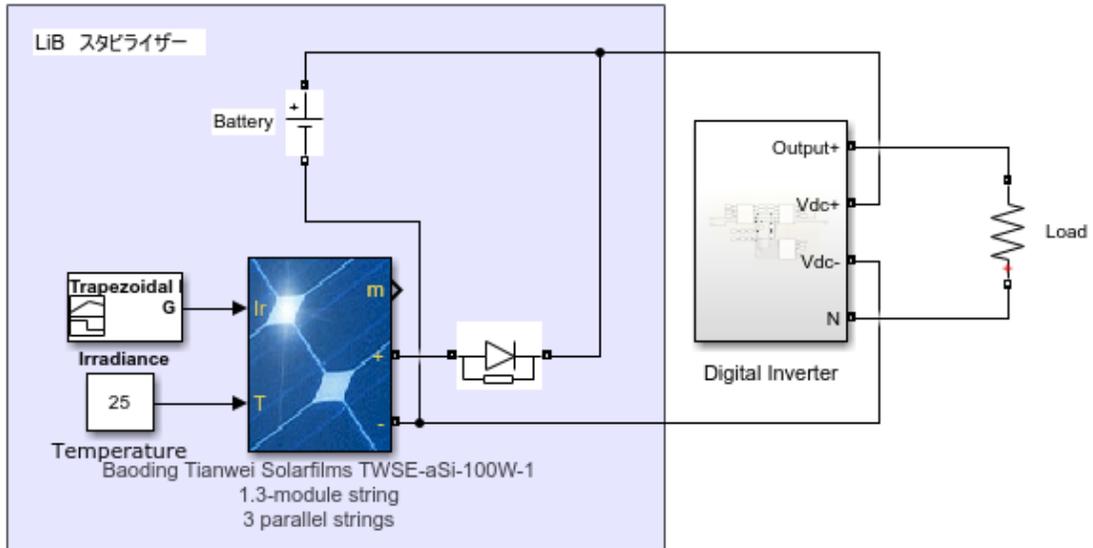


図 2-2-3-3.太陽光発電の出力の変化が
LiB スタビライザーにより安定化した結果

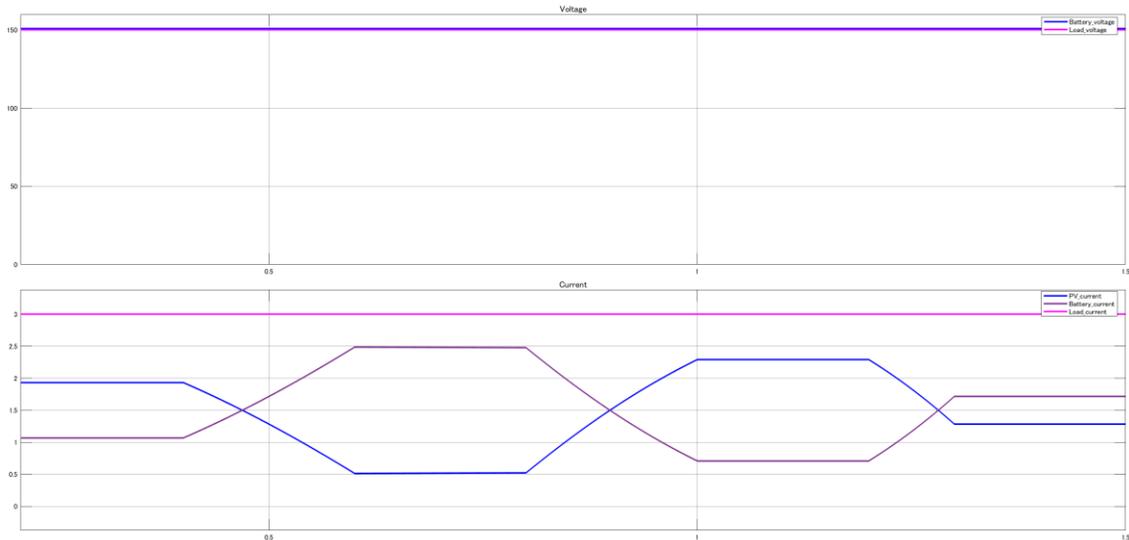


図 2-2-3-4. LiB スタビライザーにデジタルインバータを加えること
によって負荷へ任意(例 100V) 交流電圧を供給した結果

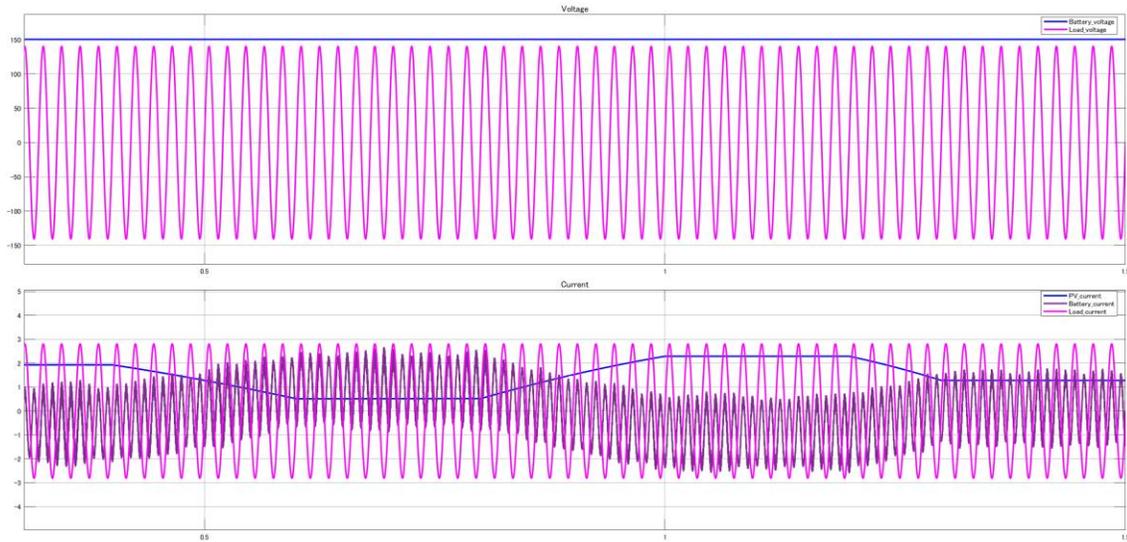
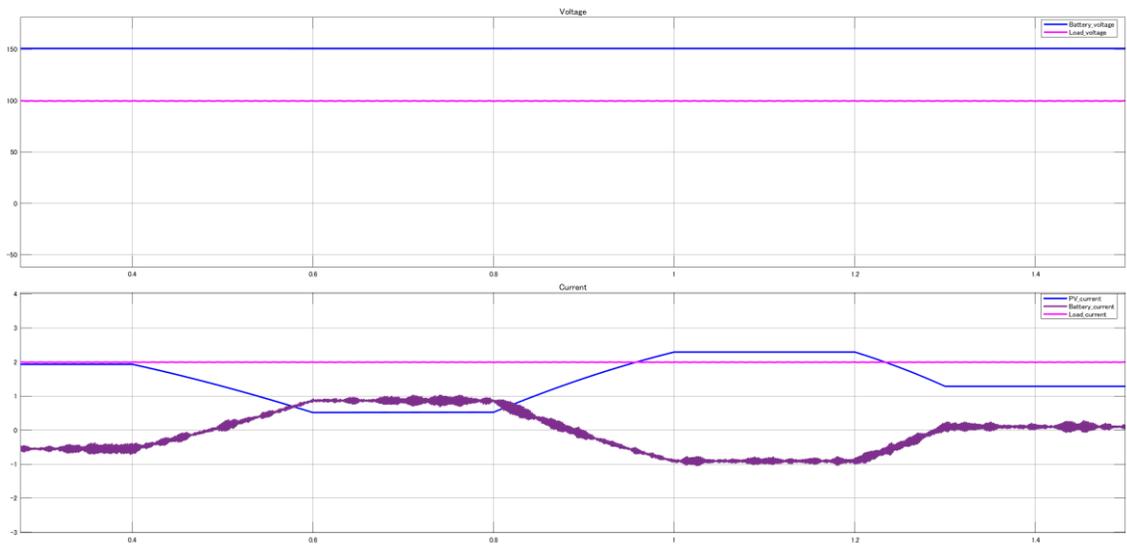


図 2-2-3-5. LiB スタビライザーにデジタルインバータを加えること
によって負荷へ任意(例 100V) 直流電圧を供給した結果



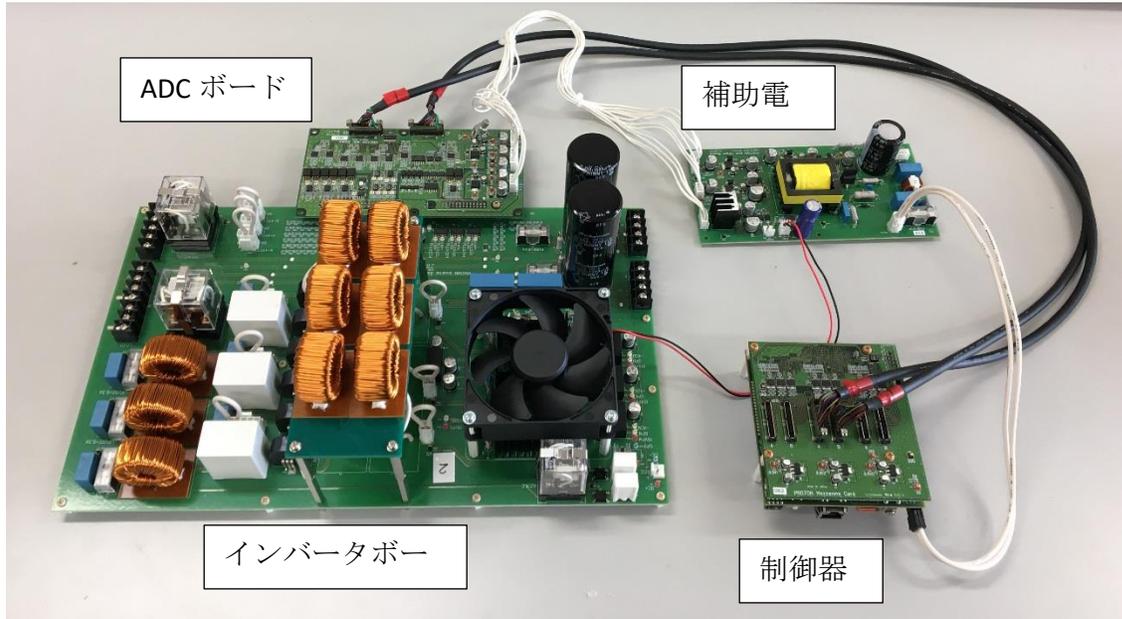
⑥ デジタルインバータのプロトタイプの実験や動作確認

定格電力が 1kW を有するデジタルインバータの設計や製作をした。
インバータの基本仕様は下記のようなものである。

- ・ハーフブリッジ 3 回路
- ・定格出力電圧: 100V

- ・定格出力電流:3A
 - ・直流母線電圧:500V
 - ・AD 変換のサンプリング周波数:4MHz
 - ・制御器:FPGA 回路(クロック周波数 160MHz)
- 製作したデジタルインバータ回路は図 2-2-3-6 のように示される。

図 2-2-3-6. 製作したデジタルインバータ



製作したインバータ回路の基本動作が確認できた。制御アルゴリズムよりインバータの出力電圧を直流・交流に簡易に変更できる。負荷の変化に対しても安定な電圧が出力できることを確認した(図 2-2-3-7、図 2-2-3-8)。

また、システムを接続し、取引となった指定電力を出力する動作を確認した。指定電力が急に変化しても出力電流が安定であることを確認できた。

基本動作ではインバータの電力変換効率は 97%であり、歪率が 1%以下であることを確認した。

図 2-2-3-7. 交流出力電圧で負荷を投入したときの電圧・電流応答

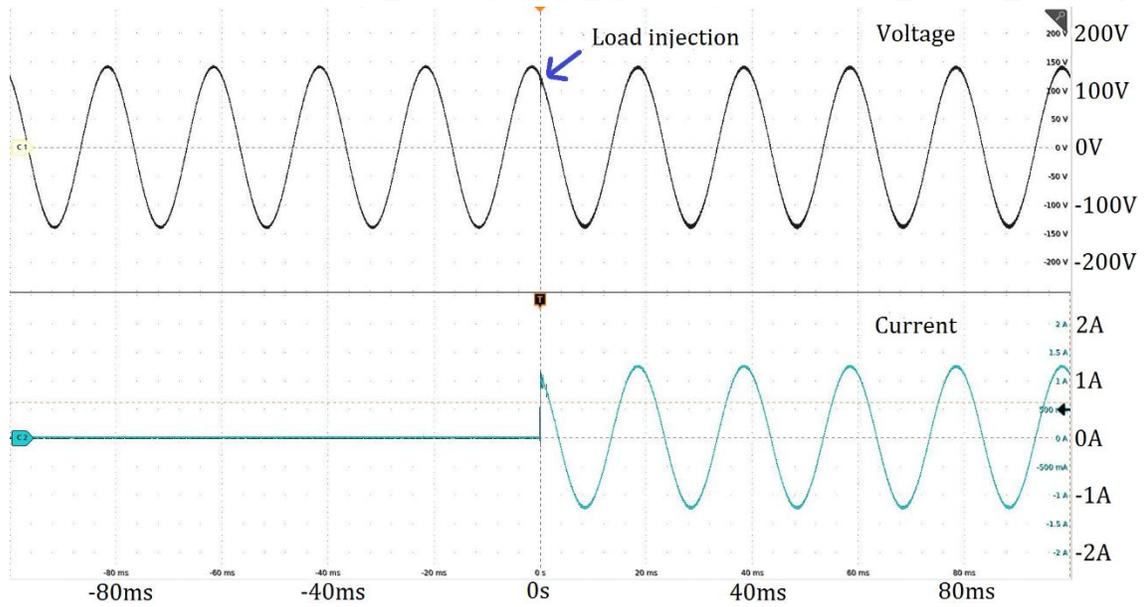


図 2-2-3-8. 直流出力電圧で負荷を投入したときの電圧・電流応答

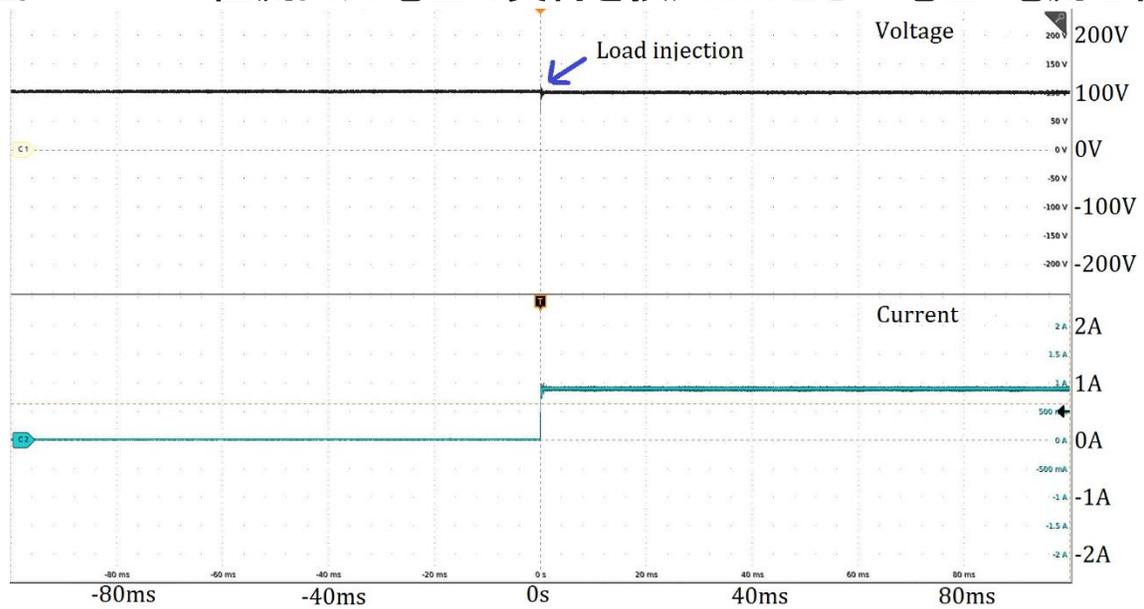
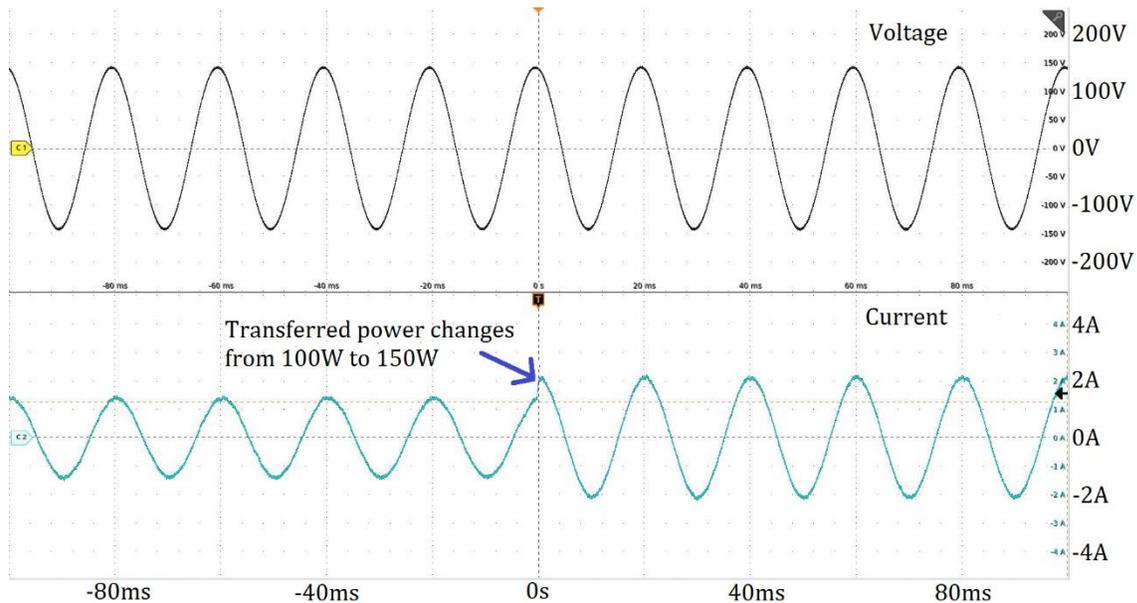


図 2-2-3-9. 直流出力電圧で負荷を投入したときの電圧・電流応答



今後の課題

開発するデジタルインバータを一般家庭へ製品化に向けてするために電力容量を約 10kW へアップグレードする必要がある。容量の増加と共に小型化や低価格化も考慮する必要がある。開発段階では kW の単価が約 8 万円であるが量産になるとその単価が 5 万円以下に低減できることを期待している。また、モジュール化された 10kW のインバータの複数台を組み合わせるとして並列に動作させることによって数百 kW のシステムを実現することが考えられる。従来のパワーコンディショナーに比べ、他の様々な分散型電源を含めた新電力システムに電力融通や災害時に健全なシステムとして対応できる機能等を活かせることによって市場の競争能力を高める必要がある。

付録(デジタルグリッドやスマート電カルータの紹介)

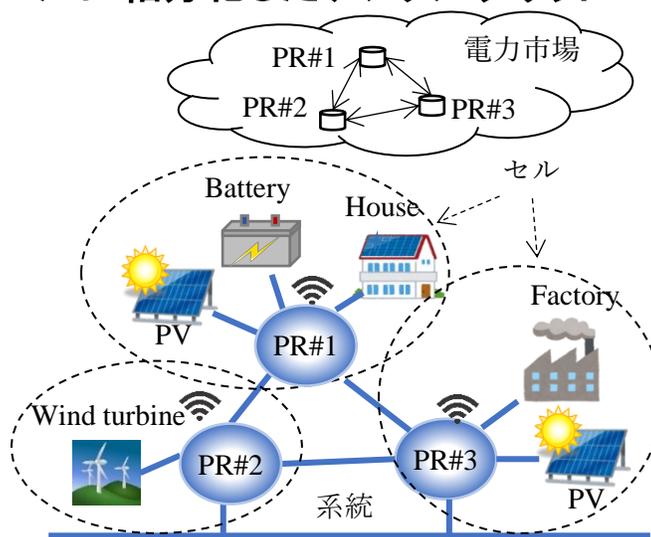
近年、気候変動問題の影響を受け、風力発電、太陽光発電など再生可能エネルギーの導入が加速している。現電力システムは需給バランスを保つために発電所で発電機の回転の慣性力で調整する仕組みとなっている。一方、太陽光、風力発電など再生可能エネルギーには電力の需給バランスを調整する仕組みがないため、再生可能エネルギーを現電力システムに大量に接続することは困難であり、再生可能エネルギーの導入割合は 20%~30% が限界であると言われてきた。また、現電力システムでは、2018 年 9 月に北海道で発生したブラックアウトのように、広領域に連鎖的な停電が発生するという問題もある。一方、スマートグリッドにより、情報技術を使って効率的な電力システムの運用を行う計画が提案された。しかし、スマートに電力需給の調整を行ったとしても、電力自体は連続的なアナログであるため、意図する通りに電力を制御することは困難であり、発電量の変化が激しい再生可能エネルギーに対してデマンドレスポンス制御では間に合わない。そこで、これらの課題を克服するためには、ICT 技術を活かし、高速にデマンドレスポンス制御が可能な新しい電力システムの開発が重要である。

上記の再生可能エネルギーの接続限界を高めるために、当研究グループはデジタルグリッドという

新電力システムを提案した。デジタルグリッドはインターネットのアーキテクチャ構造を電力網に持ち込み、旧来の巨大な同期電力システムを小さな電力システム(セル)に細分化したものである(図 2-2-3-10)。各セルは再生可能エネルギーの出力変化を吸収し、自律運転できるので大規模な連鎖停電事故を抑制できる。

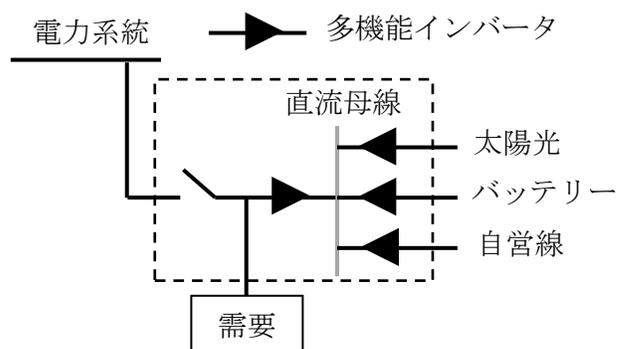
デジタルグリッドを実現するためには、通信機能を持ち、電力市場の取引結果を受けて電力のフローを制御するスマート電カルータが重要な役割を果たすが、これまで開発できていない。そこで、本研究によりスマート電カルータが開発できると電力システムが安定し、さらなる大量の再生可能エネルギーの導入が可能になる。

図 2-2-3-10.旧来の巨大な電力システムを自律運転可能である複数セルに細分化したデジタルグリッド



スマート電カルータの構造を図 2-2-3-11 に示す。複数のソフトウェアベースの多機能のインバータが共通の直流母線に繋がる構造となる。各インバータは標準となった全く同じのハーフブリッジ回路であり、デジタル制御アルゴリズムにより次のような複数機能を簡易に実現できる。

図 2-2-3-11.複数多機能インバータから構成された電カルータ



(i) 自立運転機能: 災害などにより系統が停電になったとき電カルータが高速にその停電を検出し、系統から切り離す。同時に自立運転機能により太陽光発電やバッテリーを活かし、無停電システムとして需要家に電力を供給する。また系統が正常に復活すると自立運転から系統連系へスムーズに入れ換わる。この機能によりブラックアウトを抑制できる。

(ii) 電力売買機能: 系統連系機能を持ち、系統を経由して電力市場の取引となった電力量を売買先へ送電或いは受電する。この取引に基づいた電力売買は系統の需給バランスを保つ。

(iii) 太陽光発電制御機能: 一般的な最大電力追従 MPPT(Maximum Power Point Tracker) 発電制御に加え、指定電力追従 SPPT(Specified Power Point Tracker) 発電制御も提案する。従来は太陽光による発電量がある程度を超えると需給バランスを保つために太陽光の発電を停止する必要があったが、新 SPPT 制御により系統に影響を与えず必要な量だけ発電できる。

(iv) バッテリー制御機能: 太陽光から発電された電力と電力市場から購入した電力を蓄電したり、需要先への供給や電力市場へ電力を売買するために放電したり制御する。

(v) 自営線接続機能: 需要家間に系統に経由しない直接取引となった電力を融通する。災害時には系統に代わり自営線に接続している需要家同士が助け合って電力の供給を維持する。

(vi) 直流母線電圧維持機能: 電カルータの直流母線の電圧を一定の値に維持する。この機能により電カルータに入れ込む電力や引き出す電力をバランスし、電力フローを制御する。

(vii) 電気(EV)自動車の充放電: EVの充放電を行い、V2Gシステムを実現する。

3.LIB スタビライザーの事業モデル検討

3-1.市場性の検証

3-1-1.ターゲット市場の選定

本章では、LIB スタビライザーの事業モデルの立案に向けて、市場規模がどの程度であるかを算出するとともに、市場を取り巻く環境がどのように変化しているかを描出する。市場規模を算出する上で、LIB スタビライザーがターゲットとする市場を選定する。

太陽光発電システム市場は、出力ごとに市場を区分することができる。一般的に 10kW 以下の区分が①住宅用、10kW～100kW の区分が②低圧/C&I ルーフトップ用、100kW 以上の区分が③産業・メガソーラー用とされている。一方で、納入タイミングの観点でも市場を区分することができる。I.新規製品として納入する場合、もしくは、II.交換製品として納入する場合の 2 つである。上記に記載した出力の観点、納入タイミングの観点の組み合わせにより、本製品のターゲット候補としては 6 つの区分がある。

6 つの区分より LIB スタビライザーにおけるターゲット市場を絞り込む。1 つ目の観点は、本製品は、将来的には、製品を販売するのみではなく、販売後に市場に普及した本製品を統合制御することにより、エネルギー事業を展開することを視野にいれている点である。そのため、本製品は、より多くの台数を販売する必要がある。つまり、一か所に集中して設置される②低圧/C&I ルーフトップ向けや③産業・メガソーラー向けではなく、①住宅用向けが望ましいと考えられる。2 つ目の観点は、要求される信頼性の観点も考慮する必要がある点である。②低圧/C&I ルーフトップ向けや③産業・メガソーラー向けでは、稼働時間×発電力＝“売上高”となるため、1 秒でもシステムが非稼働になった際の損失が大きい。そのため、製品の信頼性や保守・メンテナンスサービスの迅速性に対する要求水準は極めて高い。そのため、②低圧/C&I ルーフトップ向けや③産業・メガソーラー向けに、事業を開始するためには、①住宅用向けで製品の信頼性や保守・メンテナンスの迅速性に関する実績を積み上げることが必要となる。3 つ目の観点は、既存商流の構造である。①住宅用向けに、I 新規製品として納入する場合は、一般的に、太陽光発電太陽光発電パネルメーカーが PCS を調達した上で、インテグレーションした製品を販売代理店・ハウスメーカーへと供給する構造となっている。そして、太陽光発電用パネルメーカーと PCS メーカーとの間では強固なサプライチェーンが構築されている。そのため、新興の PCS メーカーが新規製品向けの市場に新規参入する場合、既存の PCS メーカーよりも、製品の信頼性や納入価格で大きく差別化することが必要となる。一方で、II 交換製品として納入する場合は、I 新規製品として納入する場合に比べて、既存のサプライチェーンが強固ではない。

表 3-1-1-1. 本製品のターゲット市場の選定

本実証のターゲット

ターゲット選定の理由

対象市場	住宅用	1	1st Target
	低圧 / C&I ルーフトップ		
	産業・メガソーラー		2
		新規	交換
		納入タイミング	

1 -1: 対象市場(対象件数)の観点

- ・ 将来的にグリッドビジネスを展開することを想定した場合、“面的に”本製品を販売する必要がある
- ・ そのため、集中して併設されている産業用などではなく、ある地域で分散して設置されている住宅用が望ましい

1 -2: 要求される信頼性の観点

- ・ 産業用などでは、設備稼働率が最も重要であるため、信頼性や保守・メンテの迅速性に要求する水準は高い
- ・ 産業用などに対して、販売を開始するためには、信頼性、保守・メンテの迅速性の検証が不可欠になるため、住宅市場で実績を確立することが必要になる

2 : 市場構造の観点(後述)

- ・ 新規品のサプライチェーンにおいては、大手製造メーカ(シャープ、パナソニックなど)がインテグレーションした製品が流通している。しかし、大手製造メーカへのPCS納入は商流が確立されているため、新規参入が難しい市場構造となっている。

以上 3 つの観点からの考察より、事業開始時の本製品のターゲットとしては、①住宅用向け×Ⅱ交換製品として納入をターゲット市場として選定した。

対象市場規模の観点(詳細)

上記では、将来的なエネルギービジネスを見据えた場合、販売台数が多いことが望ましいことを述べた。下記では、具体的な件数に関する考察を説明する。

2017 年度販売総量は、①住宅用向けが 2590MW、②低圧/C&I ルーフトップ向けが 2400MW、③産業・メガソーラー向けが 2510MW であった。そのため、総量で見た場合、①、②、③には殆ど差がないといえる。一方で、販売台数は異なる。一台当たりの容量を、①住宅用向けを 4.5kW、②低圧/C&I ルーフトップ向けを 10~100kW、③産業・メガソーラー向けを 100~1000kW と仮定した場合、販売台数は、①住宅用向けが 58 万台、②低圧/C&I ルーフトップ向けが 2~24 万台、③産業・メガソーラー向けが 3~25 万台と算出することができる。

表 3-1-1-2. 各対象市場の市場規模

※販売台数 = 販売総量 / 容量 で算出
 容量は、住宅用:4.5 kW、低圧/C&Iルーフトップ: 10~100 kW、産業・メガソーラー:100~1000 kW と仮定

対象市場	容量 (= PCS出力)	販売総量(2017年)	販売台数※
住宅用	10 kW以下	2590 MW	58万台
低圧 / C&Iルーフトップ	10~100 kW	2400 MW	2~24万台
産業・メガソーラー	100 kW以上	2510 MW	3~25万台

出所)(株)資源総合システム「太陽光発電マーケット」より NRI 試算

市場構造の観点(詳細)

上記考察では、Ⅰ新規製品として納入する場合は、Ⅱ交換用として納入する場合よりも、サプライチェーンが強固に構築されていることを述べた、ここでは、より詳細なサプライチェーンに関する考察を説明する。①住宅用向けのサプライチェーンは、Ⅰ新規製品として納入する場合とⅡ交換製品として納入する場合の2つの商流が存在している。新規製品として納入する場合、シャープやパナソニックのような大手メーカーが、パネルとPCSをインテグレーションした上で、販売代理店・ハウスメーカーに納入することが多い。そのため、パネルメーカー兼システムインテグレーターに採用されることが、PCSメーカー(=本事業の立ち位置)としては重要になるが、既に堅牢な調達構造が確立されているため、新規参入は難しい構造となっている。一方で、保守・交換は、ハウスメーカーや販売代理店が独自に交換を行うというケースが存在するため、PCSメーカーにとっては、新規製品として納入する場合に比べて参入障壁が高くない。

以下の図 3-1-1-3、図 3-1-1-4、図 3-1-1-5 に、それぞれ①住宅用向け、②低圧/C&Iルーフトップ向け、③産業・メガソーラー向けのサプライチェーンの詳細を示す。

図 3-1-1-3. 太陽光発電システムのサプライチェーン
(①住宅用向け)

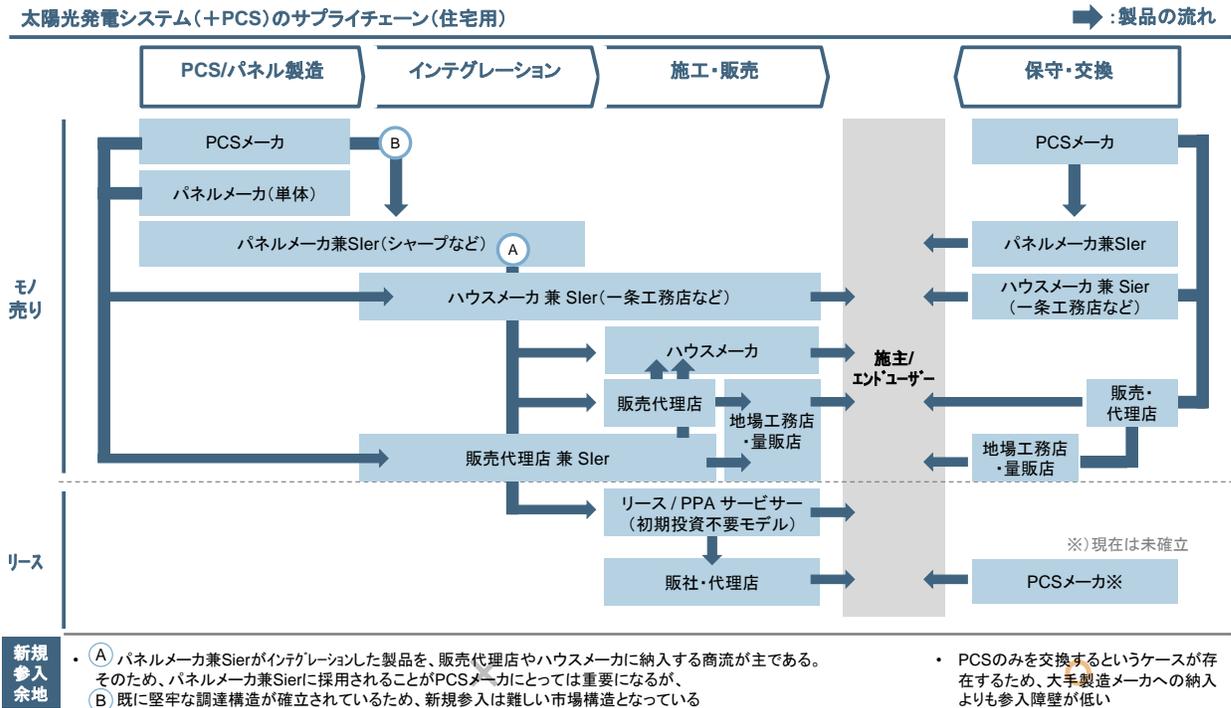


図 3-1-1-4. 太陽光発電システムのサプライチェーン
(②低圧/C&I ルーフトップ向け)

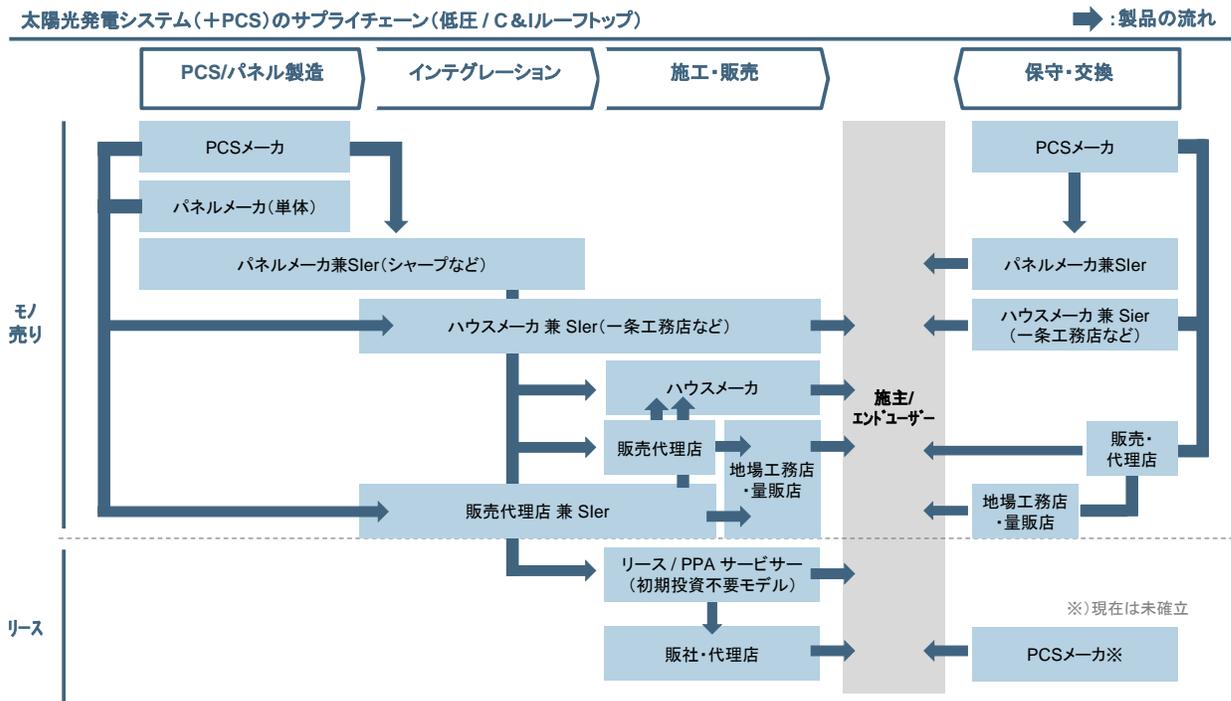
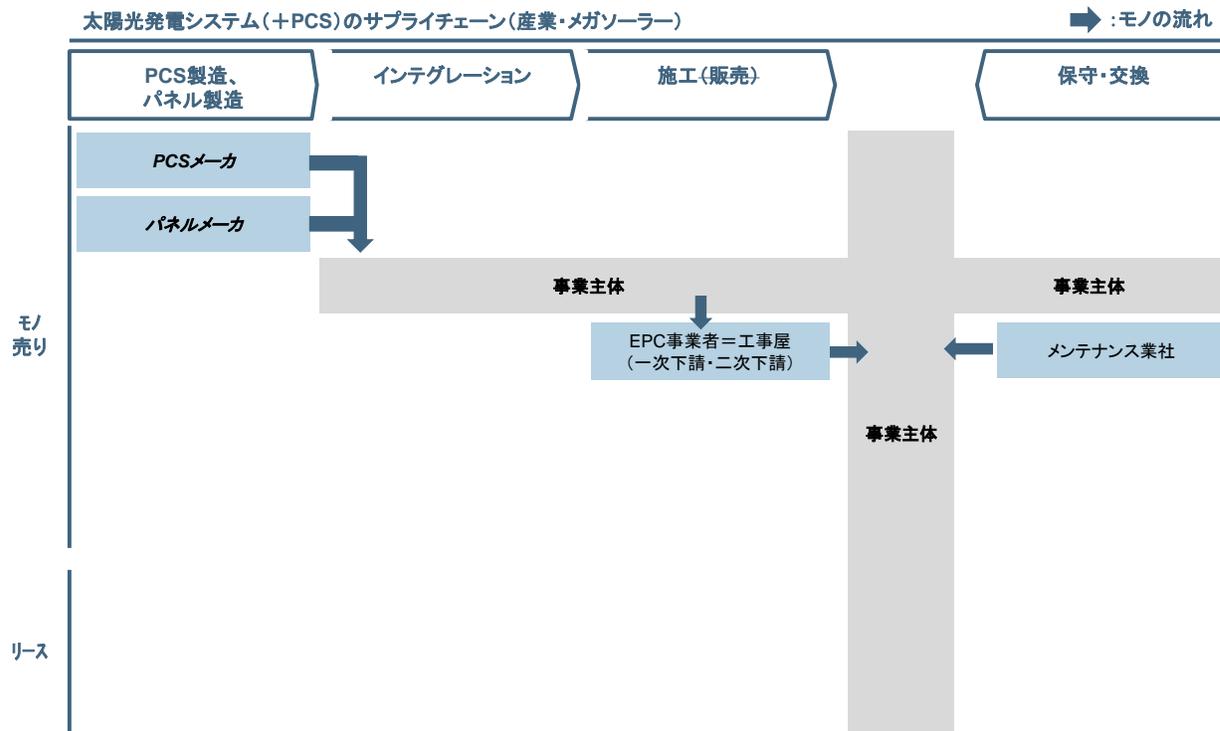


図 3-1-1-5 太陽光発電システムのサプライチェーン (③産業・メガソーラー向け)



なお、③産業・メガソーラー向けは、①、②のサプライチェーンとは大きく異なる。パネルとPCSのインテグレーションは、大手メーカーではなく事業主体が行うことが多い。事業主体が、最も収益を獲得できるパネルとPCSの組み合わせを検討した上で、調達するのである。そのため、PCSメーカーとしては、参入が容易な市場構造であると言えるが、やはり信頼性、保守・メンテナンスの迅速性に対する要求水準の観点から実績の確立は不可欠である。

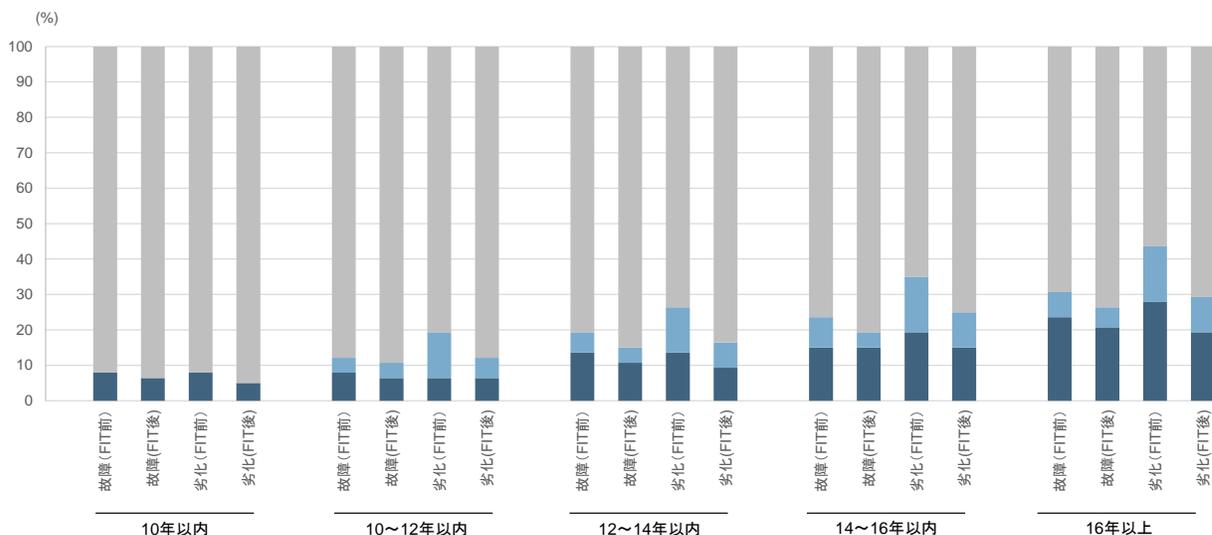
3-1-2.市場規模の算出

本章では、事業開始後のターゲット市場として選定した住宅用×交換市場における市場規模(交換需要件数)を算出する。

一般的に太陽光発電システムにおける PCS は、納入から約 10 年後に交換期を迎えると言われていた。実際に、大手メーカーの保証期間は 10 年～15 年程度で設定されていることが多い。しかし、現在、FIT 黎明期に導入された太陽光発電システムの多くが、設置後 10 年を迎えているが、故障してしまい交換需要が拡大しているという情報は多くない。そのため、本実証では、太陽光発電用 PCS は、実際には納入してから 10 年以上持つのではないかと仮説を立てた。そして、PCS 交換需要の実態を正確に把握するために、アンケート調査を実施し、結果を、以下の表 3-1-2-1 に示す。

表 3-1-2-1. 製品販売後の経過年数別 住宅用 PCS の交換割合

製品販売後の経過年数別 住宅用PCSの交換割合(調査結果)



出所)本実証におけるアンケート調査

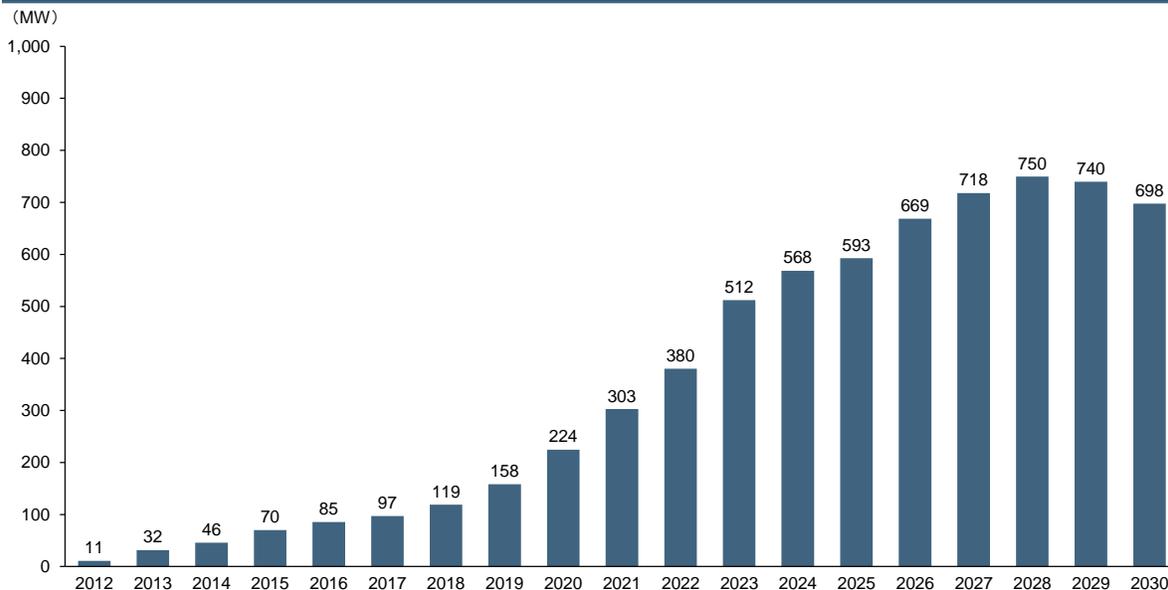
縦軸は交換の割合を示している一方で横軸は、何年以内に交換が行われるかを示している。また、FIT 制度導入前に設置された製品と FIT 制度導入後に設置された製品で製品の耐久性に差があるのではないかと考え、販売時期でも区別して調査した。交換割合は、濃い青色と薄い青色で分けている。濃い青色の部分が、故障/劣化してしまい交換される製品の割合、薄い青色の部分が故障/劣化しているものの未だ機能するため交換されない製品の割合を表している。例えば、2009 年以前に販売した製品のうち、10～12 年以内経過した PCS は、約 20%が劣化してしまう。そして、約 5%が劣化を原因に交換されていると予測できる。

これらの結果より得られた故障による製品の交換率と劣化による製品の交換率の和と、PCS 販売後の各経過年数(販売後 10～18 年)における PCS 交換未実施の太陽光発電容量をもとに、住宅用太陽光発電システムにおける PCS 交換需要を算出した。

表 3-1-2-2.太陽光発電向け PCS の交換需要(住宅用向け)

住宅用PCSの交換需要予測(出力ベース)

■ 住宅用PCSの交換需要予測値(出力ベース)



試算方法： PCS販売後の各経過年数(販売後10~18年)におけるPCS交換未実施の太陽光発電容量
 × [(故障による製品の交換率)+(劣化による製品の交換率)] を 2002年販売製品から2020年販売製品(予測)ごとに推計した上で、合計値を算出

出所)住宅用太陽光発電システムにおける PCS の交換需要に関するアンケート調査 資源総合システム

上記がアンケート結果をもとに算出した住宅用 PCS の交換需要の予測値である。例えば、2020 年度に発生する交換需要は 224MW 程度、2023 年度に発生する交換需要は約 512MW 程度であると考えられる。仮に、住宅用向け太陽光発電システムは 1 台あたり約 4.5kW であるとした場合、2023 年度に PCS 交換が必要となる住宅件数は、512MW/4.5kW=約 11.4 万件と算出することができる。

3-1-2 では、LIB スタビライザーを住宅用太陽光発電システムの交換需要をターゲットした場合の市場規模を算出した。3-1-3 以降では、事業モデルを検討するに際し、住宅用向け太陽光発電システム用 PCS の交換事業を取り巻く市場環境がどのように変化しているかを描出する。

3-1-3.事業環境変化の描出

本章では、住宅用太陽光発電システムにおける PCS 交換事業を取り巻く環境が近年、どのように変化しているかに関して調査した結果に関して説明する。

最初に PCS 交換事業の川上の変化(主に PCS 製造事業に関する変化)に関して着目する。PCS 製造事業において最も注目すべき変化は、低価格化の進展である。現在、住宅用向け太陽光発電システム用 PCS は、中国メーカーなどが製造した低価格製品が台頭している。その結果、コモディティ化による低価格化が進みつつある。実際に中小の販売代理店へのヒアリングしたところ、住宅用向け太陽光発電パネルおよび PCS を調達する際に最も重視するポイントは価格であるという意見が大半を占めた。下記に、太陽光発電システム全体、および、太陽光発電用 PCS の価格推移のグラフを示す。

表 3-1-3-1.太陽光発電システム・太陽光発電用 PCS の価格推移(～10kW)

① 住宅用(～10kW)

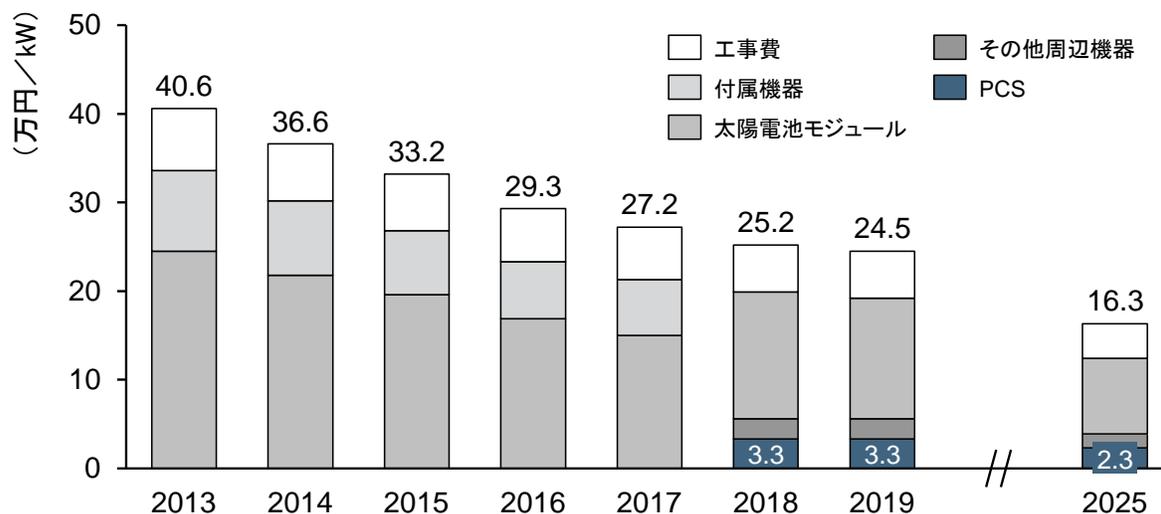


表 3-1-3-2.太陽光発電システム・太陽光発電用 PCS の価格推移
(10kW～50kW)

② 業務用小規模(10～50kW未満)

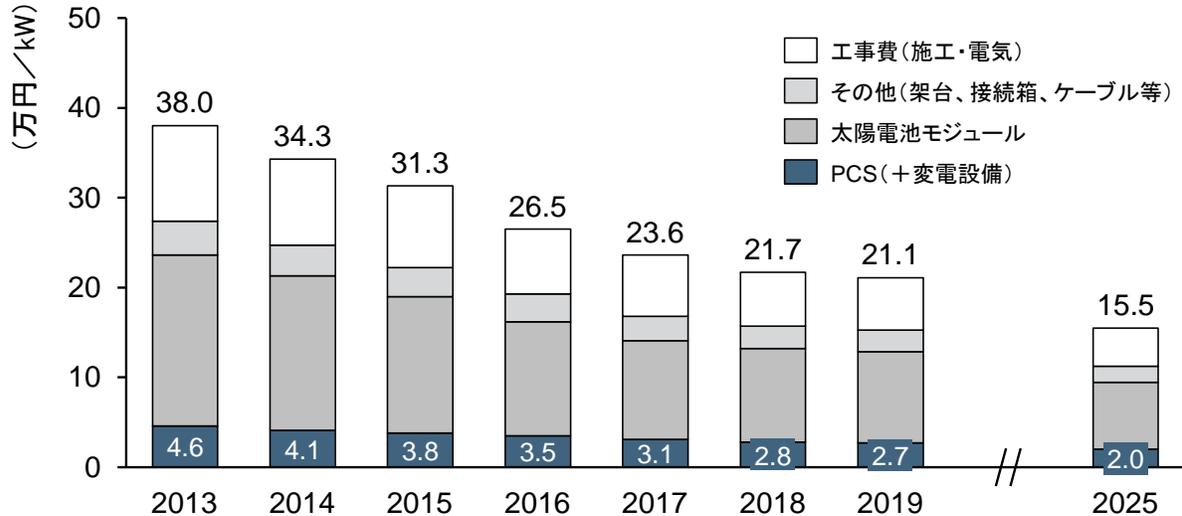


表 3-1-3-3.太陽光発電システム・太陽光発電用 PCS の価格推移
(50kW～1MW 未満)

③ 業務用中規模(50kW～1MW未満)

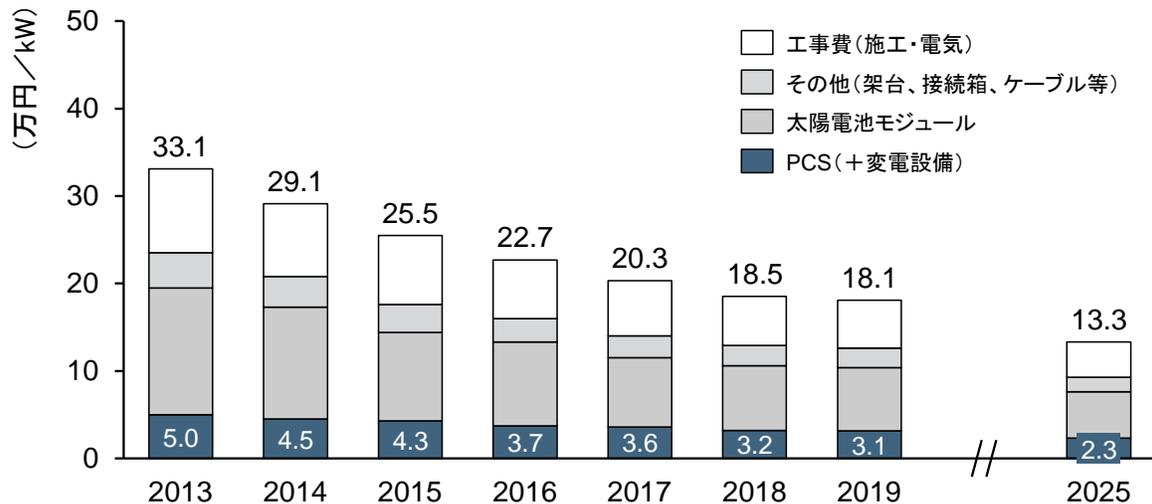
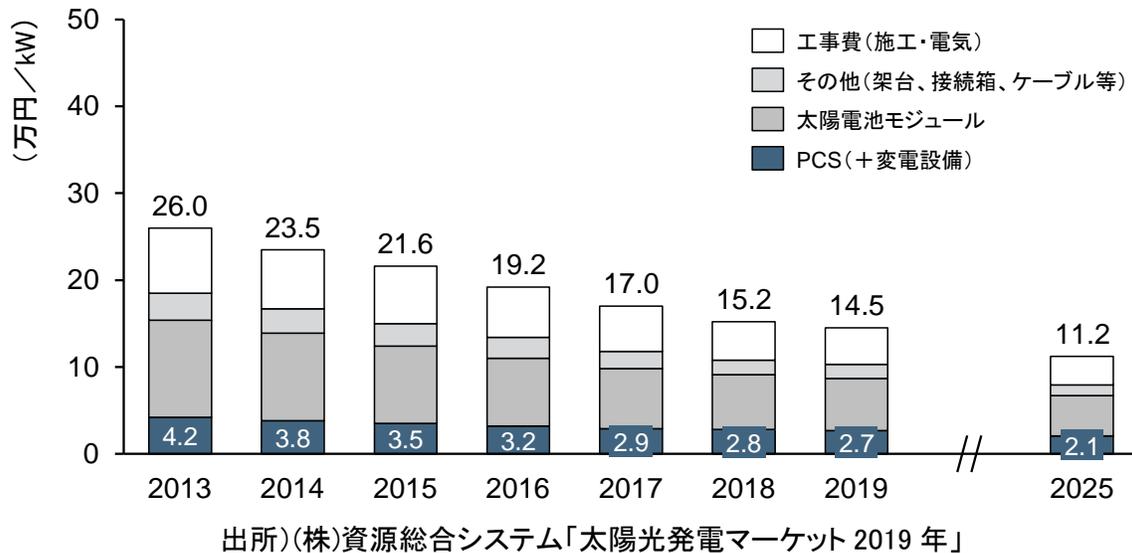


表 3-1-3-4.太陽光発電システム・太陽光発電用 PCS の価格推移
(10kW～50kW)

④ 業務用大規模(1MW以上)



上記表より、年々低価格化が進んでいることが分かる。2025 年度には、太陽光発電用 PCS の価格は、2019 年度価格の 60～70%まで下落すると予想されている。

また、交換需要の獲得を狙うため、耐久性向上による製品寿命の長期化も無視できない変化である。本実証実験においても、交換需要を算出するためのアンケートを設計する際、耐久性の向上を考慮するために、何年に販売された PCS であるかという観点を考慮して市場規模を算出した。

交換市場への新規参入するプレイヤーの動向において注目すべき環境変化

現状、劣化/故障した PCS を交換するタイミングで、PCS を太陽光発電システムとストレージ用バッテリーの両方に対応したハイブリッド PCS に切り替え、ストレージ用のバッテリーを追加で納入するという事業が拡大している。ストレージ用バッテリーの需要増加に伴い、かつ、販売サイドとしても販売単価が上がるため活発化している。

また、これまで太陽光発電システム販売事業においては、太陽光発電システムを消費者が購入する、いわゆる売り切りモデルが主流であったが、近年ではリース販売が加速している。特に 2018 年度前後より多くの企業が太陽光発電システムのリースサービスを開始している。下記の表 3-1-3-5 に、2018 年前後に太陽光発電システムリース販売事業を開始した事業者の例を紹介する。

表 3-1-3-5.太陽光発電システムリース販売事業の例

企業名	サービス名	開始時期	月額料金※	概要
 TEPCOホームテック	ソーラーエネカリ	2018年7月～	9,800円程度	<ul style="list-style-type: none"> TEPCOホームテックが提携メーカー製太陽光発電システムを全国の顧客に提供 契約期間は、10年間または15年間を選択可能 給湯器・IHクッキングヒーターのリースとのセット割引有
 	HOME太陽光でんき	2017年12月～	12,100円程度	<ul style="list-style-type: none"> ハウステンボスが京セラ製太陽光発電システムを関東・中部・関西の顧客に、京セラの販売網を利用して提供 契約期間は10年間 夜間等、太陽光発電不可時はHTBエナジー（ハウステンボスの子会社）が電気を供給
	ほっとでんき	2018年8月～	10,900円程度	<ul style="list-style-type: none"> ソーラーフロンティア製の太陽光発電システムを、東京電力・中部電力・関西電力・九州電力のエリアの顧客に提供 契約期間は、10年間または20年間を選択可能
 LIXIL TEPCO スマートパートナーズ	建て得バリュー	2018年4月～	11,700円程度	<ul style="list-style-type: none"> 指定メーカー製の太陽光発電機器・建材を用いてZEH住宅を建設する顧客が対象。提供エリアは積雪量を基準に設定 契約期間は10年間 LIXIL商品（建材）の購入数に応じて電力料金が安価となるプラン有

※月額料金は各社Webサイトより試算（東京電力エリア、契約容量 50 A、電力量470 kWh/月 の場合）

出所) 各社ホームページ

契約期間は10年～15年のものが多く、月額約1万円程度のサービスが多い。なお、月額料金は、各種条件次第で変化するため、東京電力エリア、契約容量50A、電力量470kWh/月として試算した。

また、リース販売という考え方は、リユース製品を扱う本事業においても重要である。リユース製品は消費者にとっては壊れやすい可能性があるというイメージがあるため、普及が進まない恐れがある。しかし、リース販売（かつ、交換サービスもセット）という方法で、故障リスクを事業者が持つことで、消費者は安心してリユース製品を扱うことができる。

交換事業者の環境変化

表3-1-2-2に示した通り、2020年度以降に拡大する交換需要は注目すべきポイントである。加えて、本来、太陽光発電システムの保守・交換サービスを提供する事業者が多く倒産してしまっており、交換サービスの担い手が不足しているという点も注目すべきポイントである。倒産件数の推移と近年の主要な倒産事例を以下の図3-1-5-6に示す。

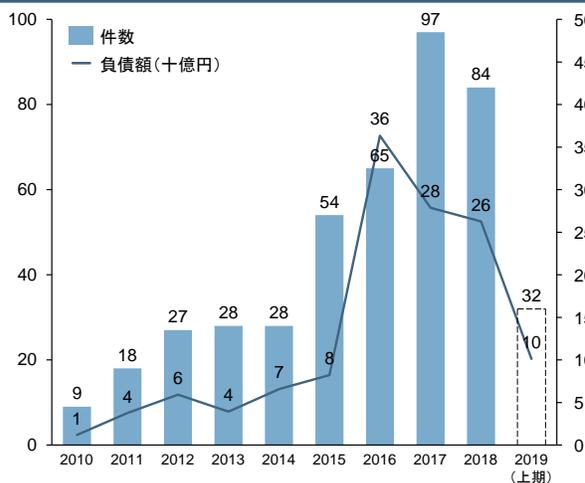
図 3-1-3-6.太陽光発電システム販売事業者の倒産動向

PV販売事業者の倒産動向

※太陽光関連事業者:PV販売や設置工事、パネル製造やコンサルティングなど関連事業を担当する事業者

※太陽光関連事業者の倒産件数の推移

近年の主要な倒産事例



電現ソリューション(株)のケース

- 個人住宅向けの省エネ設備の訪問販売を主として手掛けており、メガソーラーの開発や分譲販売事業にも参入
- 運転資金需要の増加やコスト増により資金繰りが悪化し、2017年10月に東京地裁から破産開始決定を受けた

北電テクノのケース

- 太陽光発電設備の販売・設置を目的に設立
- 住宅用太陽光発電の補助金の終了や縮小、FIT価格の引き下げなどから受注が減少し、資金繰りが悪化
- 2017年11月に、札幌地裁から破産開始決定を受けた

りょうしん電気のケース

- 住宅設備の販売施工を主とし、太陽光発電関連事業に参入
- ブームの収束で'16年9月期の売上高が落ち込み、自社保有のメガソーラーや関連会社の売却をしたが奏効せず、2017年5月に大阪地裁に破産を申請

出所)東京商工リサーチニュースリリースよりNRI作成



販売代理店
インタビュー

- PVブーム当時に購入した顧客には、訪問販売会社が潰れてしまい問い合わせる先がなく困っているケースもあるのではないかと
- 当社としては、今後は、倒産したPV販社が抱えていた顧客も取り込んでいきたいと考えている

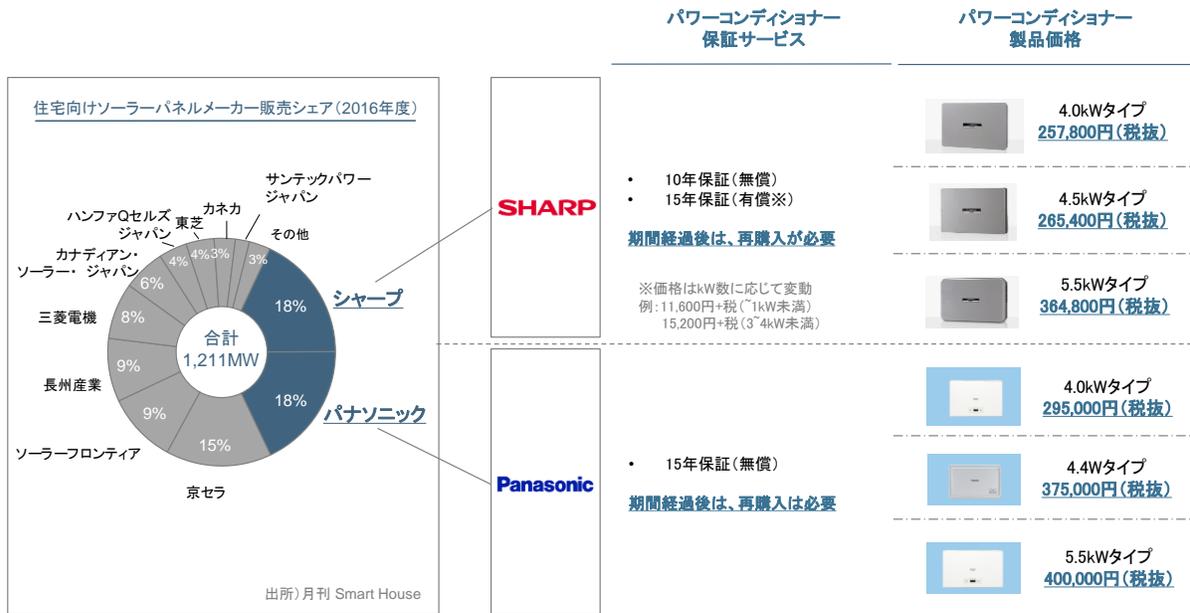
出所)東京商工リサーチニュースリリースより NRI 作成

左側のグラフは、倒産件数と負債額を示している。2015年度より倒産件数が急拡大していることが分かる。右側の事例でも記載したが、FIT価格の引き下げ等の影響で受注数が減少、その結果、資金繰りが悪化、そして倒産してしまったのだ。販売代理店へのインタビューでは、「PVブーム当時に購入した顧客には、訪問販売会社が潰れてしまい問い合わせる先がなく困っているケースもあるのではないかと。当社としては、今後は、倒産したPV販社が抱えていた顧客も取り込んでいきたいと考えている」というコメントも得られており、交換需要の取り込みを狙う本事業としては追い風であるとも捉えることができる。

また、大手メーカーによる保証サービスの長期化・充実化も交換需要の減少に繋がるため、見逃すことができない変化である。シャープやパナソニックなどの大手ソーラーパネルメーカーは、現在、約10～15年の保証期間を設定している。そのため、現在購入された製品に対する交換需要の取り込みは難しい可能性が高い。

3-1-3-7.主要メーカーにおける保証サービス概要

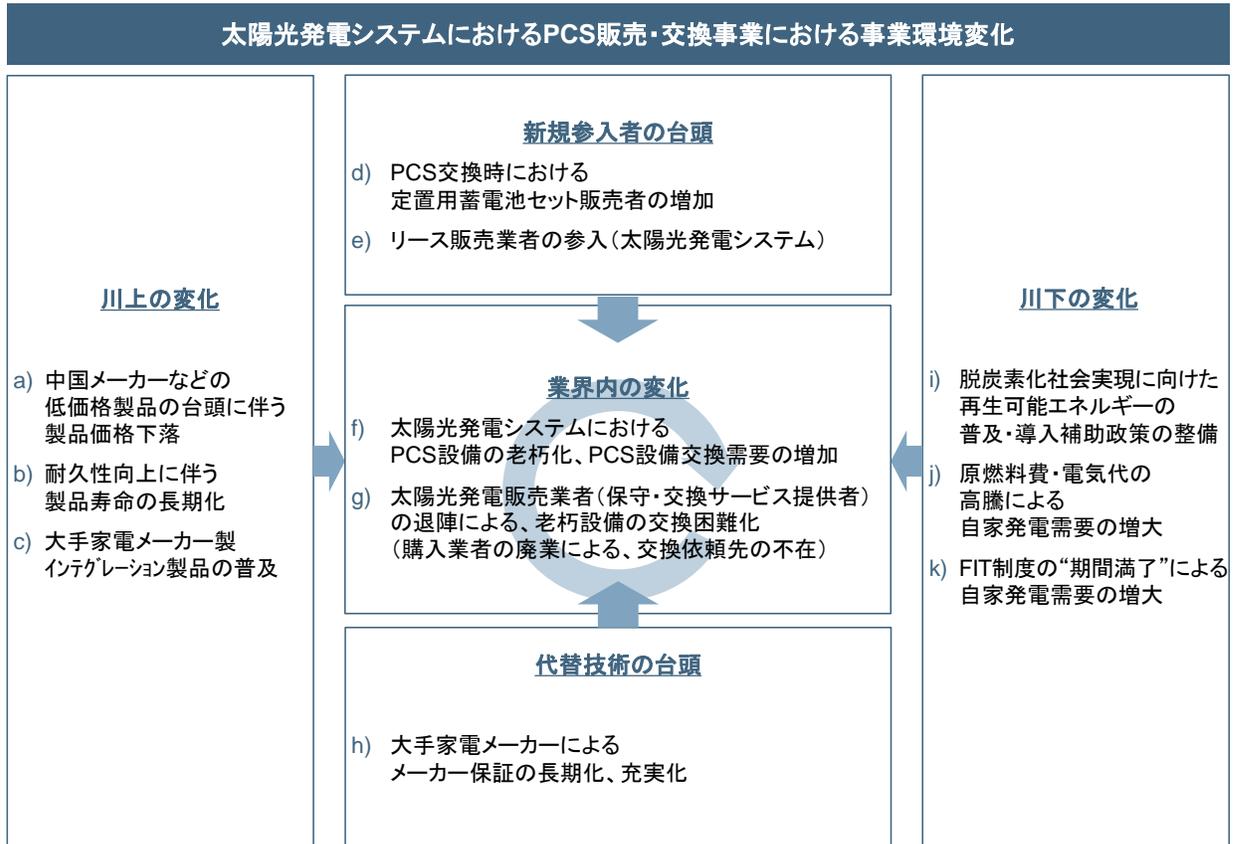
主要住宅ソーラーパネルメーカーにおけるパワーコンディショナー、保証サービスの概要



出所) 月刊 SmartHouse、各社ホームページより NRI 作成

これまでで取り上げた太陽光発電システム用 PCS の販売・交換事業における注目すべき事業環境変化を、取り纏めた結果を図 3-1-3-8 に示す。

図 3-1-3-8.太陽光発電システム用 PCS 販売・交換事業における
事業環境変化



事業モデルを設計する際、図 3-1-3-8 で示した事業環境変化を考慮する必要がある。特に、低価格化が進む競合製品価格の推移、リースモデルに対する顧客需要性、交換サービス提供者の撤退などは十分に考慮した上で、事業モデルを設計する必要があると考えている。

3-2.事業モデル・ロードマップの立案

3-2-1.事業モデル・ロードマップの立案概要

3-1 において、ターゲットとする市場の選定、ターゲット市場における市場規模の算出、ターゲット市場における市場環境変化の描出を実施した。3-2 では、ターゲット市場に参入するための具体的な事業モデルを描出する。

本実証では、事業モデルの具体化を進める上で、①提供顧客の観点(だれに)、②提供製品の観点(何を)、③提供プロセスの観点(どのように)という3つの観点を個別に検討した。以下、①～③までの詳細を説明する

3-2-2.本事業モデルにおける提供顧客の設計

本事業モデルにおける①提供顧客の観点(だれに)を設計する。顧客の候補としては、図 3-1-1-4 でも示したように、直接最終消費者へと販売する、販売代理店(経由で最終消費者)へと販売する、という方法が存在する、パネル製造兼インテグレーションメーカー(経由で最終消費者)へと販売するというオプションが存在する。

3-1-1 でも言及したように、パネル製造兼インテグレーションメーカーへの供給サプライチェーンは堅牢に構築されており、価格面や機能面で相当に差別化しない限りは参入することは難しい。他方で、直接最終消費者へと販売する場合、他社への交換需要を獲得することを前提としているが、既に様々な販売網流を持つ販売代理店が存在する中で商流を新たに設計することは非効率である。そのため、本実証では、販売代理店(経由で最終消費者)へと販売することに決定した。

3-2-3.事業モデルにおける提供製品の設計

本事業モデルにおける②提供製品の観点(何を)を検討する。3-1-3 で記載したように、現在、太陽光発電用 PCS を交換するタイミングで、ストレージ用の蓄電池をセットで販売する事業者が増えている。そこで、本事業モデルにおいても、(太陽光発電用 PCS 交換時に)太陽光発電用 PCS を単体で販売するオプション 1 と(太陽光発電用 PCS 交換時に)太陽光発電用 PCS とストレージ用蓄電池をセットで販売するオプション 2 が存在すると仮説を立てた。

各オプションを検討する前に、各オプションにおいて競争優位性を築くための観点、検討すべき観点を整理した。太陽光発電用 PCS を単体で販売するオプション 1 では、前述のように、基本的には価格が最も重要なポイントとなる。販売代理店に扱って貰えるかどうかは、いかに安く提供できるかに依存するのだ。一方で、太陽光発電用 PCS とストレージ用蓄電池をセットで販売するオプション 2 では、現在は、富裕層による購入が多い。そのため、オプション 1 と同様に、価格は当然重要なポイントであるが、加えて、品質や機能による差別化も重要なポイントとなってくる。以下の表 3-2-3-1 に、各オプションの概要を纏めた。

表 3-2-3-1.本事業における販売製品のオプション

販売製品のオプション概要

		概要	KFS / 検討すべきこと
住宅用途での 交換販売	Option 1	(PCS交換時に) PCSを単体で販売	<ul style="list-style-type: none"> 経年劣化したPCSを交換する際に、PCSを単体で提供する KFSは販売価格 価格面での競争優位性を確立
	Option 2	(PCS交換時に) PCSと蓄電池を セットで販売	<ul style="list-style-type: none"> 経年劣化したPCSを交換する際に、PCSとストレージ用蓄電池をセットで提供する KFSは蓄電性能、次いで販売価格 (富裕層による購入が主) そのため、セット販売する蓄電池の 仕様に関して検討する必要がある

各オプションにおいて、一般的な競合製品といくつかの観点で比較評価した。

オプション 1 においては、住宅用としては一般的なサイズである 4.5kW 用の太陽光発電用 PCS を競合製品として設定した。一方で、オプション 2 においては、販売代理店へのヒアリングを通じて、評価の高かった商品 A と商品 B の 2 つを競合製品として選択した。

評価項目は、卸価格(販売代理店への販売価格)、工事費(工事時に発生する費用)、PV 整流機能の有無(不安定な PV 発電を安定化できるかどうか)、AC/DC 変換機能の有無(DC で発電された電力を AC に変換できるかどうか)、PV 売電機能の有無(PV で発電した電力を売電できるかどうか)、瞬停対応機能の有無(系統電源に切り替えた際に瞬停が発生するかどうか)、蓄電機能の有無(PV で発電した電力を蓄電できるかどうか)、蓄電池用 PCS としての機能の有無(蓄電池用の PCS として活用できるかどうか)、蓄電池売電機能の有無(PV で発電した電力を蓄電池に蓄積した上で売電できるかどうか)とした。

比較した結果を、表 3-2-3-2 に示す。

表 3-2-3-2.各オプションにおける競合製品との比較表

製品比較表(住宅用)		卸価格	工事費	PV整流	AC/DC変換	PV売電	瞬停対応	蓄電機能	蓄電池対応	蓄電池売電
Option 1 PCSを 単体で販売	PCS(4.5kW)	約10万円 (詳細は後述)	○	○	○	○	○	×	×	×
	Libスタビライザー	未定 (詳細は後述)	△ 小型化で 解決可能	○	△ ※インバータ併設で 解決可能	×	×	○~△ 0.86kWh (詳細は後述)	×	×
Option 2 PCSと 蓄電池を セットで販売	商品A	約150万円	○	○	○	○	○	○ 9.8kWh	○	○
	商品B	約100万円 ※工事費込み	○	○	○	○	○	○ 4kWh	○	×
	Libスタビライザー + 蓄電池※ (詳細は後述)	未定 (詳細は後述)	○	○	○	×	○	○	○	×

オプション1の比較では、2-2で記載したように、周波数調整機能がないためPV売電が難しい点がネックとなる。また、一般的な太陽光発電用PCSよりも筐体が大きいため工事費が多く発生してしまう点も劣る。さらに、瞬停が発生してしまう点も競合製品よりも劣る。これらは、2-2-2で記載したように、継続的な技術開発が必要となるポイントである。一方で、売り文句の設計次第では強みになりうる蓄電機能を保有している点は競合製品よりも機能面で上回っている。

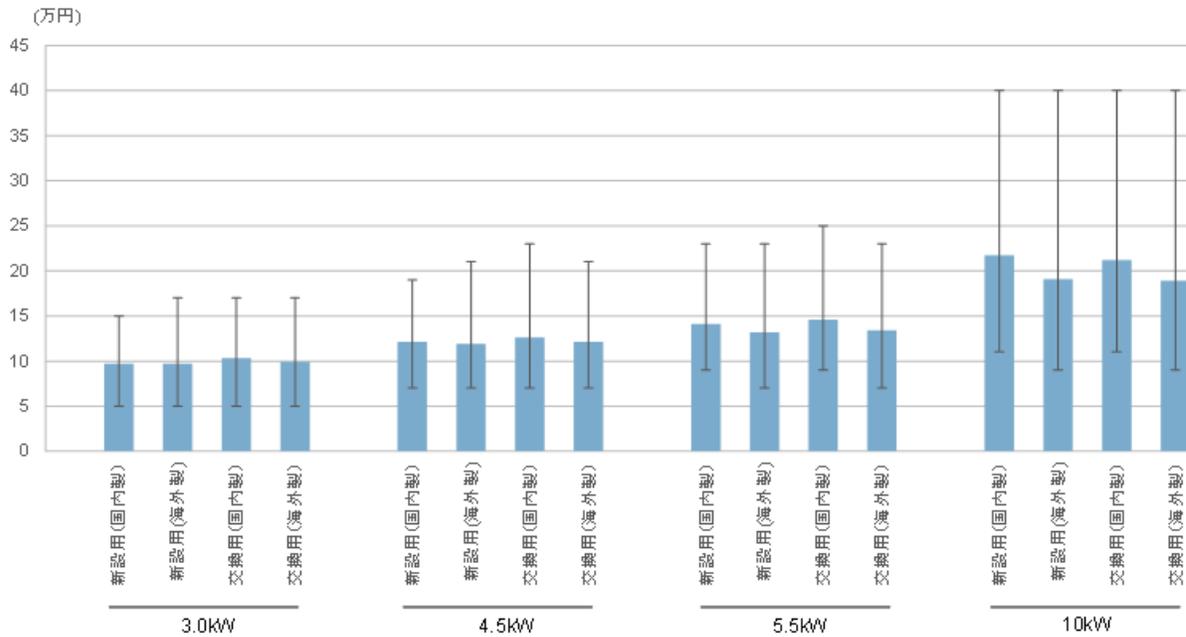
そして、オプション1の競争優位性を構築する上で最も重要なポイントである卸価格に関して考察する。競合製品と比較する場合、最終的に消費者に販売する際の価格ではなく、販売代理店への卸値が重要になる。しかし、一般的に卸値は非公開である。そこで、アンケート調査を実施し、卸値の概算を行った。

調査結果より、各出力別における仕入れ価格の平均値を算出した。以下の図3-2-3-3に示す。

図 3-2-3-3.住宅用向け太陽光発電用 PCS の仕入れ価格

出力別 住宅用PCSの仕入れ価格(WEB調査結果)

■ 住宅用PCSの仕入れ価格平均値(最大値と最小値の範囲も記載)



調査概要 : 弊社 / ハウスメーカーにおいてPCSメーカーから住宅用PCSを調達する際の調達価格を調査。
PCSの用途が新設用 / 交換用が、また、PCSメーカーが国内製 / 海外製が分類した上で、PCSの出力別に価格を整理。

出所)住宅用太陽光発電システムにおけるPCSの仕入れ価格に関するアンケート調査

上記調査の結果、住宅用PCSの調達価格は、「3.0kW:10万円」「4.5kW:12万円」「5.5kW:15万円」「10kW:20万円」であることが分かった。

これを本製品の目標販売価格とした上で、③提供プロセスの観点では回収や製造にかかるコストを最小化する補法を検討するとともに、3-3では実際にコストを見積もる。

一方で、リユース製品であるため、新品の太陽光発電用PCSと同程度の価格で良いのか、さらに安価にしなければ取り扱ってもらえないのではないかと仮説もあったため検証した。各種販売代理店へヒアリングの結果、リユース製品であるため半分の価格でなければ扱えない、保証制度が確立されていれば同価格でも問題ない、という意見が約半数ずつとなった。

図 3-2-3-4.リユース製品の価格に対する販売代理店の見立て

各論点と打ち手案

論点

PCS交換需要を狙う場合、
販売価格は何円程度に
設定すべきか

打ち手(仮)

- PCS交換需要のみを狙う場合は、リユース品であることに鑑みると、従来品の約半分であることが望ましいという声もある
- 一方で、保証制度さえあれば同価格でも販売可能であるという声も存在するため、競合製品価格をベンチマークするべきである



販売代理店
インタビュー

- ・ 弊社にとっては、製品の仕入れ価格が新品の半分程度でないと、リユース品を扱うことはできない
- ・ 家庭で一般的に使われているPCS(5.5kW)の仕入れ値は約10万円なので、その半分である5万円が目標価格になるのではないかと



販売代理店
インタビュー

- ・ 製品の保証が確立していれば、リユース品であることへの不安感は払拭できるのではないかと



販売代理店
インタビュー

- ・ リユース品は、新品の半分程度の価格でないと販売できない。例えば、弊社で扱っているリユースPVの販売価格は、新品の半分の価格に設定している。

出所)各種ヒアリング

保証制度が確立されていけば同価格でも問題ない販売代理店は存在していることから、本事業の目標価格は図 3-2-3-3 で設定した価格と同程度とすることにした。

オプション 2 に関して考察する。太陽光発電用 PCS とストレージ用蓄電池をセットで販売するオプション 2 においては、価格面での優位性は当然重要なポイントとなるが、加えて、品質や機能による差別化も重要なポイントとなってくる。なお、表 3-2-3-2 から分かるように、売電機能の実現に向けた周波数調整機能は必須となる。

一方で、セット販売するストレージ用の蓄電池に様々なオプションがあると考え、いくつかのオプションにおける Pros/Cons を評価した。以下の図 3-2-3-5 に示す。

図 3-2-3-5.セット販売するストレージ用の蓄電池オプション

Option	概要	Pros	Cons
Op.1 EV用バッテリーを定置用にリユース(実際には新品を活用)	<ul style="list-style-type: none"> EV用のバッテリーを定置用バッテリーとしてリユース 数量が確保出来るまでは、新品用を使用(但し、環境貢献価値を付加価値とする場合は、リユース製品とアピールする) 	<ul style="list-style-type: none"> 十分な蓄電容量の確保が可能 環境改善効果の訴求が可能 	<ul style="list-style-type: none"> EV用バッテリーの回収量が不足する恐れ 販売価格が高価になる恐れ
Op.2 HV用バッテリーを定置用にリユースした上で複数バインド	<ul style="list-style-type: none"> HV用のバッテリーを複数束ねた上で、定置用バッテリーとしてリユース 消費者の要望に応じて、容量を変更可能な設計にすることを想定(1つあたり0.86kWhの容量を保有) 	<ul style="list-style-type: none"> 販売価格が安価 環境改善効果の訴求が可能 消費者の要望に応じて、蓄電容量の変更が可能(4,7,14kWhのみで良い) 	<ul style="list-style-type: none"> 複数のバッテリーを束ねるため、サイズが大きくなる恐れ
Op.3 モバイルバッテリー(二輪用製品を改良)	<ul style="list-style-type: none"> 二輪駆動用(交換式)に開発したバッテリーを定置用バッテリーを活用(ポータブル式であることを想定) 	<ul style="list-style-type: none"> 販売に対して、モバイルという新たな価値提供が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 環境改善効果の訴求が難しい 製品価格が下がるため、販社の利ざやや少なくなる 自家消費のみを前提として場合、容量が小さい
Op.4 V2H + EV	<ul style="list-style-type: none"> V2HとEVをセットで販売 	<ul style="list-style-type: none"> 本業の売上向上に繋がる 	<ul style="list-style-type: none"> PVやPCSの販売チャネルを活用する必要がない(自動車の販売チャネルを活用すべきである)

セット販売するストレージ用の蓄電池としては、4つのオプションがあると考えた。1つ目は、EV用バッテリーを回収後、ストレージ用の蓄電池としてリユースして提供する、フォーアールエナジー株式会社が展開しているような方法である。但し、現在はEVの普及台数が少ないため、安定した回収量が見込めるまでは新品用で代替する必要がある点がボトルネックとなる。2つ目は、約0.86kWhの容量を持つHV用バッテリーを複数個バインドして1台のストレージ用の蓄電池として設計することである。これより、中容量の定置用バッテリーを製造する。この方法であれば、環境改善効果の訴求効果があるとともに、消費者のニーズに応じてサイズを可変で供給できる点も魅力的である。但し、複数のバッテリーを束ねて製造することから、物理的なサイズが大きくなってしまふことが懸念される。また、電動二輪やEVなどの新興電動モビリティとともにセットで販売するというオプション3とオプション4というパターンも検討した。

しかし、ストレージ用蓄電池とセットで販売するオプションを各種検討したが、いずれの打ち手も中長期的な打ち手で判断が難しかったため、本実証では、各オプションのPros/Consを検討するに留まった。そのため、対象市場がより明確であるため、本事業開始初期では、オプション1(太陽光発電用PCSのみを販売)を採用することとした。

参考: 商品Aの機能紹介

本実証では、太陽光発電用PCSとストレージ用蓄電池をセットで販売するオプション2において、競合となる製品を検討する際、販売代理店からの評価が高かった商品Aを選択した。

そこで、本実証では、現在、市場からの評価が高い商品Aが保有する機能を調査したため、参考情報として記載する。主な特徴としては、AI機能で充放電を最適化、約10kWhのストレージ機能、出力性能3kVA、停電への対応力、蓄電池内の電気の適正管理、見守りサービスでの稼働状況監視など

のサービスが主な特徴であった。今後、オプション 2 におけるストレージ用バッテリーの要件を具体化する際には、上記の情報を参考にした上で、検討を進めることを想定している。

3-2-4.本事業モデルにおける提供プロセスの設計

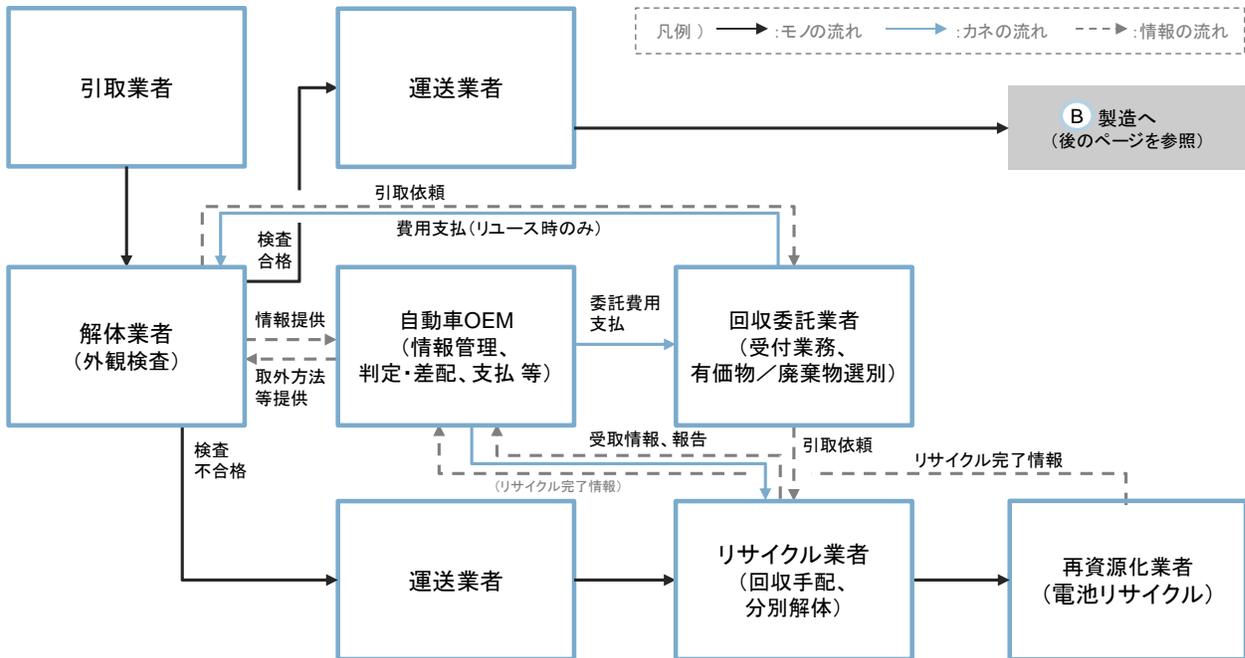
本事業モデルにおける③提供プロセスの観点(どうやって)を検討する。本事業モデルでは、回収工程ではどのように回収スキームを構築することで回収コストを最小化するか、製造工程では、どのように製造スキームを構築することで製造コスト(バッテリーの診断コストなども含む)を最小化するか、販売/保守・メンテナンス工程では、どのように販売スキーム、保守・メンテナンススキームを構築することで、販売可能性を高めるかを検討した。

回収スキームの検討結果を説明する。回収では、如何に回収コストを最小化するかが重要な論点である。回収コストを最小化するために、廃棄自動車用に構築された既存の回収ネットワークを活用することを第一優先に回収スキームを検討した。自動車と同様のネットワークで引取業者から解体業者に引き渡された後、解体業者にて外観検査を実施することで、リユース可否を1次的に判断する。その後、外観検査に合格したバッテリーのみ運送業者に引き渡した上で、運送業者が製造工程まで輸送する。一方で、事故車や明らかに外観が悪いなどの理由で外観検査に不合格であったバッテリーは、リサイクル業者に運送する。

なお、バッテリーに付属しているコネクタ類も、一部に関してはLIBスタビライザーの一部品としてリユースすることを考えているため、解体方法を明確に規定した解体マニュアルが必要になると考えている。解体マニュアルの整備等に関しては、3-2-5の事業ロードマップの作成で詳細を説明する。

また、今後は、解体業者から発生するタービンなどの他の廃車自動車部品とともに輸送する混載物流や、他自動車会社の廃棄車両との共同物流なども、制度の整備状況に応じて柔軟に対応することが必要であると考えている。以下の図3-2-4-1に想定している回収スキームを示す。

図 3-2-4-1.本事業モデルにおける回収スキーム

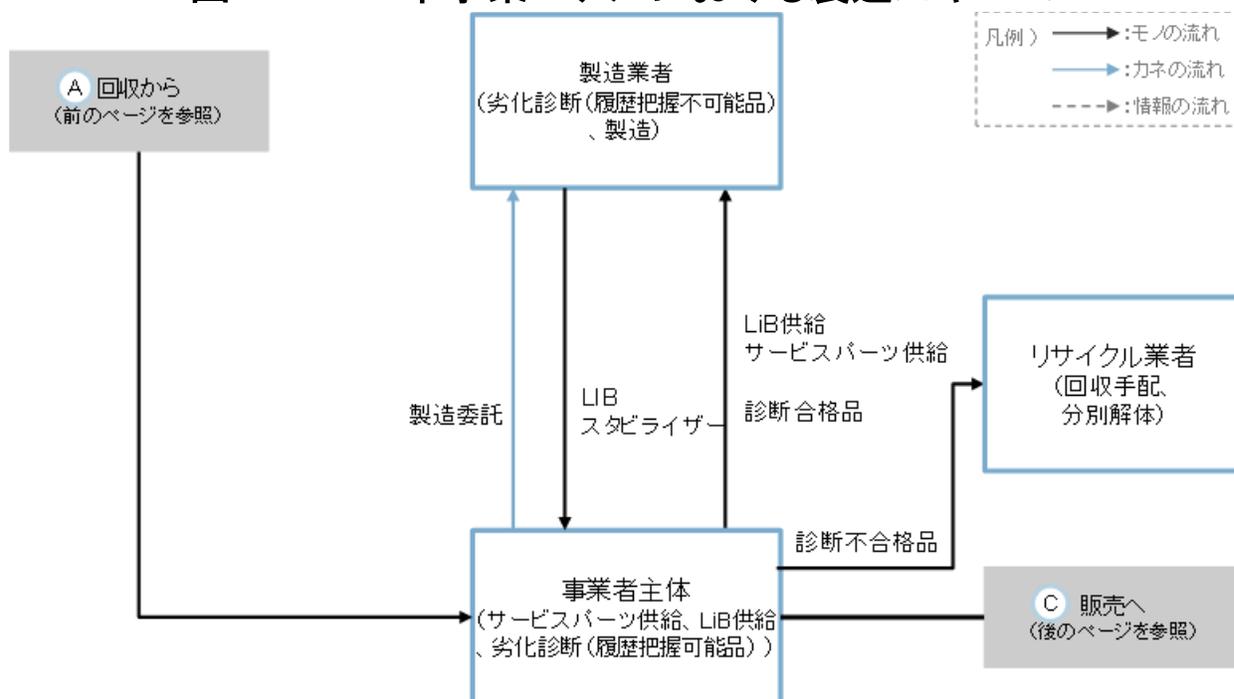


製造スキームの検討結果を説明する。製造工程では、回収工程と同様に、如何に製造コストを最小化するかが重要な論点である。運送業者により輸送したバッテリーは、事業者主体に納入することを想

定している。その後、事業者主体で改めてバッテリーの劣化度を精緻に診断することで、性能面での選別を実施する。この際に、不合格となったバッテリーは、リサイクル業者へ引き渡す。

実際に LIB スタビライザーを製造する際は、コストを極力削減することが必要であるため、低コストでの製造能力に強みを持つ製造事業者へ委託することを想定している。なお、製造スキームでのパートナーとなる製造事業者の選定は直近の課題であると認識している。図 3-2-4-2 に製造スキームを示す。

図 3-2-4-2.本事業モデルにおける製造スキーム



販売/保守・メンテナンススキームの検討結果を説明する。販売/保守・メンテナンス工程では、如何に販売可能性を高めるかが論点である。つまり、リース形式での販売スキームを如何に構築するかが重要である。製造工程で劣化診断を担当していた事業者主体が、販売以降の事業も主導することを想定している。リース形式で LIB スタビライザーを提供するためには、保証制度の実現に向けた保険会社とのパートナーリングが必要である。なお、前述のように、保険会社との価格設定に向けた残存寿命の客観的評価は必要になると考えている。また、事業者主体は、販売代理店へと販売手数料を支払うことで、顧客への営業活動を一部委託することを想定している。また、事業者主体は、保守・メンテナンス事業者に対して、保守・メンテナンス契約料金を支払うことで、保守・メンテナンスサービスを委託する。なお、保守・メンテナンス事業者により再回収された廃棄 LIB スタビライザーは、再度廃棄自動車のリサイクル工程に流すことを想定している。図の 3-2-4-2 に販売/保守・メンテナンススキームを示す。

図 3-2-4-3.本事業モデルにおける販売/保守・メンテナンススキーム

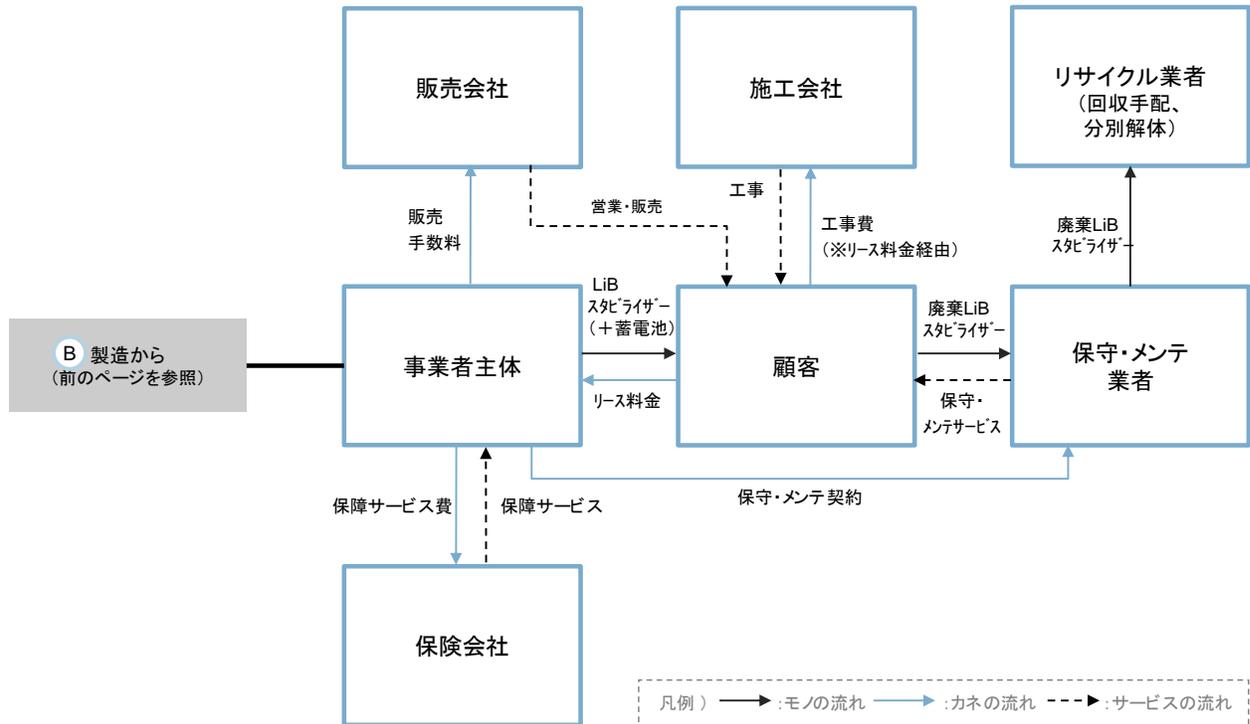
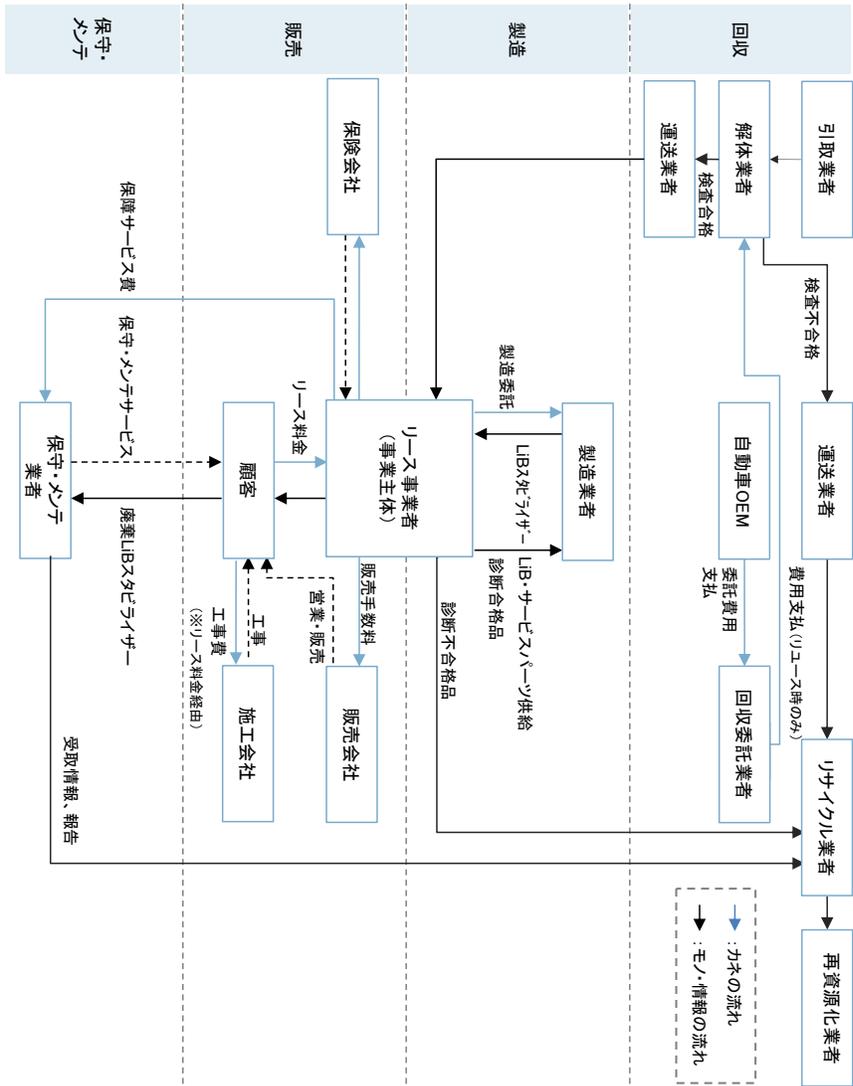


図 3-2-4-1、図 3-2-4-2、図 3-2-4-3 の内容を統合して作成した本事業モデルの全体像を、図 3-2-4-4 に示す。詳細は前述のため割愛する。以降では、当事業モデルを前提に、各種コストを試算した上で、競合製品価格と比較することで、競争優位性を検証した。

図 3-2-4-4.本事業モデルの全体像



- 自動車回収用に構築された既存の廃バッテリー回収網を活用(将来的に、共同物流などのスキームを活用)
- 解体業者にて、外観検査を実施し、リユース可否を1次判断合格品のみ製造工程へ引き渡し

- リーヌ事業者が簡易診断することで、性能面での選別を実施
- 実製造は、低コストの製造事業者へ委託
- 診断不合格品は、リサイクル業者へ引き渡し

- 販売代理店経由かつリーヌ形式で最終顧客へと販売
- 施工は、委託された事業者が実施
- 製品保証は保険会社を利用して整備

- 保守・メンテナンスおよび再回収は、業者に委託
- 使用後の廃棄LIBS外ライザーは、リサイクル業者へ引き渡し

3-2-5.事業ロードマップの作成

事業ロードマップに関して説明する。事業全体としては、2023年度までは、フィールド実証の推進、エコシステムの作り込み、稼働実績の蓄積を進めることで、事業開始の準備を進めることを想定している。そして、2023年度より、バッテリー回収量、PCS交換需要の両方が多く見込める関東・中部エリアに限定して事業を開始することを想定している。2025年度より事業展開エリアを全国に拡大することを想定している。

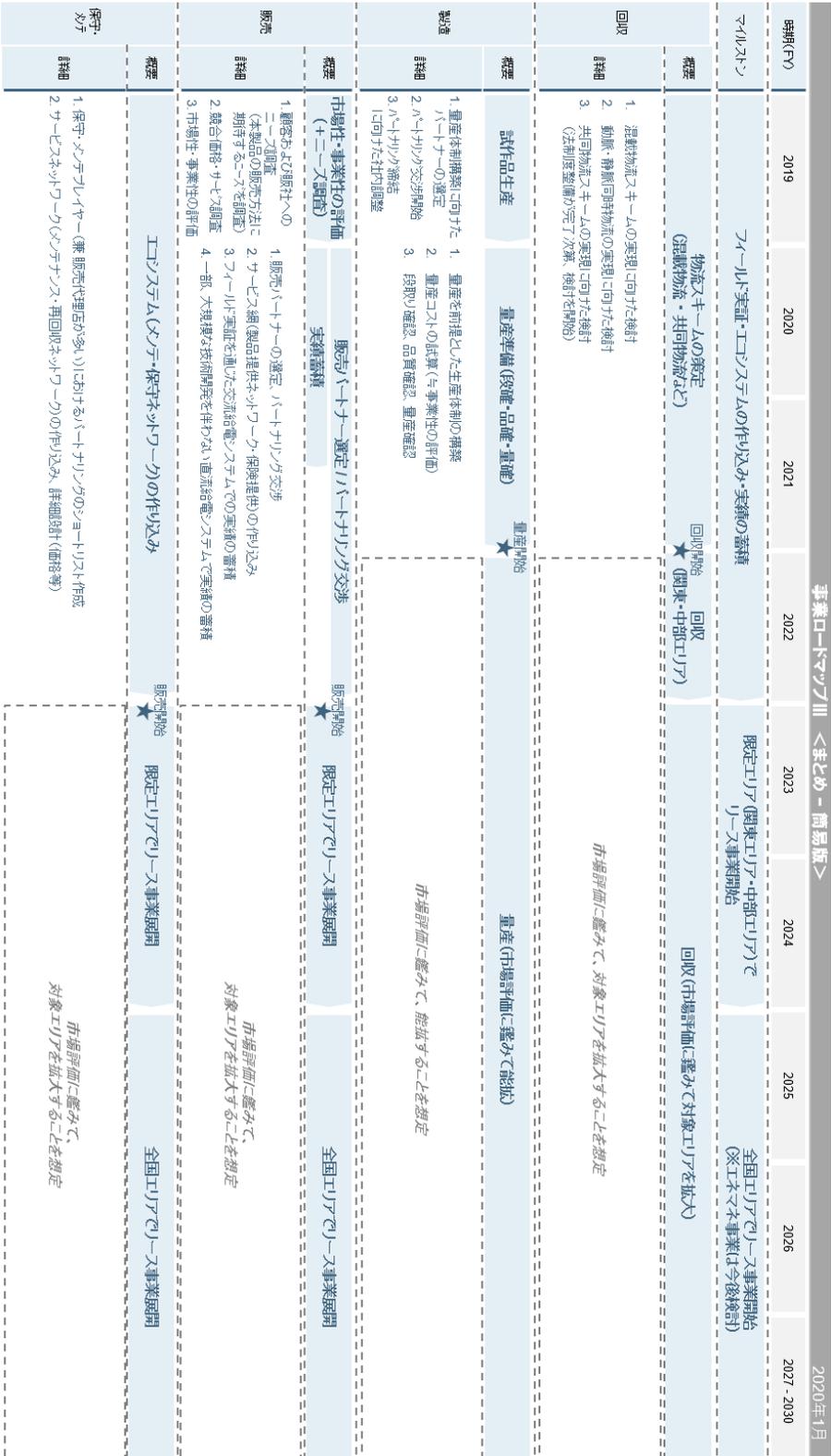
回収工程では、2021年度までは、物流スキームの策定に取り組む。具体的には、物流保証機能(トレーサビリティ機能)の検討や、廃棄車両から収集した他の部品も同時に回収する混載物流スキームの検討、さらなる回収コスト削減に向けた動静脈同時物流の検討、他自動車会社との共同物流の検討などが挙げられる。また、前述のように解体事業者向けのマニュアルの策定、マニュアルの展開等も必須であると考えている。そして、2022年度以降は、実際にLIBスタビライザーを製造することを前提としたバッテリー回収を開始した上で、回収ネットワークの対象エリアを広げていくことを想定している。

また、製造工程では、2020年度以降は量産準備に取り掛かる。量産を前提とした生産体制の構築や、量産コストの試算を実行に移す。また、本年度の残課題であるパートナーの選定、パートナーリング交渉なども継続する必要がある。そして、2022年度以降に量産を開始することを想定している。

販売工程では、2020年以降は、稼働実績の蓄積と販売パートナーの選定を進める。フィールド実証を通じて交流環境下での実績を蓄積するとともに、サービス網の作り込みに向けた保険会社や販売代理店とのパートナーリング交渉を具体的に進めていく。そして、2023年度より関東や中部での限定エリアでリース販売を開始することを想定している。その後、2025年度より全国エリアでのリース販売を開始することを想定している。

保守・メンテナンスでは、2023年度の販売開始に向けてエコシステムの作り込みを行う。保守・メンテナンスサービスを展開するプレイヤーとのパートナーリングを進めるとともに、委託価格の具体化等を進めることを想定している。図3-2-5に事業ロードマップの全体像を示す。

図 3-2-5.事業ロードマップ全体像



3-3.事業性の評価

本製品の事業性を評価するにあたり、本製品の普及見通しを試算する。試算にあたっては、3-2-5で述べたエリア展開計画を前提とした。試算した台数を販売した場合の本製品の卸価格の見込みを試算し、競合製品との比較によって、事業性を評価した

3-3-1.普及見通しの試算

普及見通しの試算にあたり、3-2-5で述べたように、本事業は2023年度～2024年度は関東および中部エリア、2025年度以降は全国で事業を展開することを前提とした。そのため、普及見通しの試算手順は以下の通り実施した。

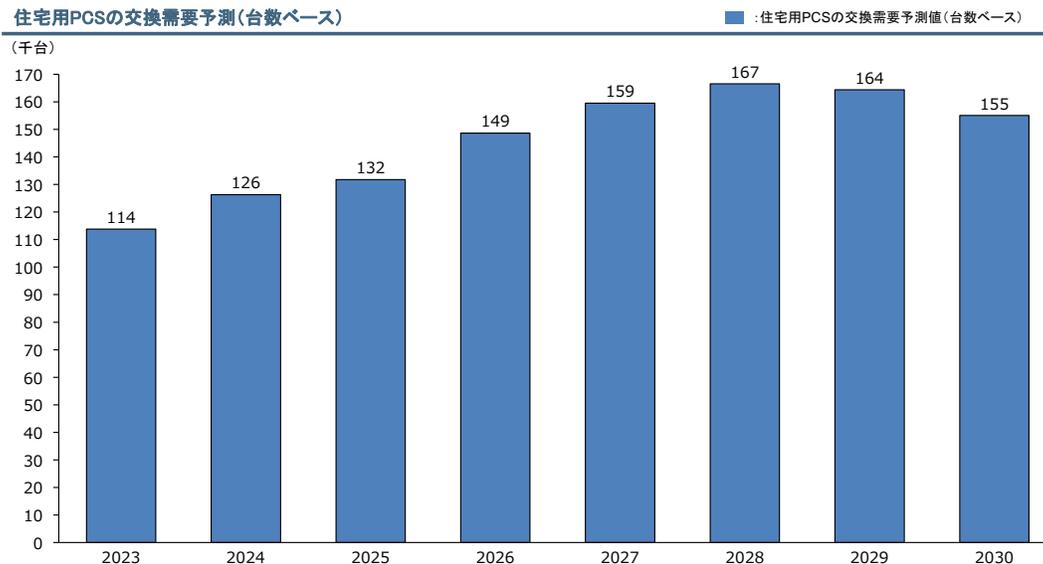
- ① 全国 PCS 市場規模(台数ベース)の算出
- ② 本事業展開エリアにおける PCS 市場規模の算出
- ③ 本製品の市場における獲得シェアの算出
- ④ 本製品の販売台数の算出

上記の手順で、本製品の展開エリアにおける市場規模に対して、期待される獲得シェアを乗算することで、本製品の普及の見通しを算出した。

① 全国 PCS 市場規模(台数ベース)の算出

全国の PCS 市場規模(台数ベース)の算出は、表 3-1-4-2 の太陽光発電向け PCS の交換需要(住宅用向け)を、平均的な住宅における太陽光発電システムの容量である 4.5kW で除算した。また、ここでは今後の普及見通しのための試算を行うため、対象期間を 2023 年度～2030 年度に限定した。

図 3-3-1-1.住宅用 PCS の交換需要予測(台数ベース)

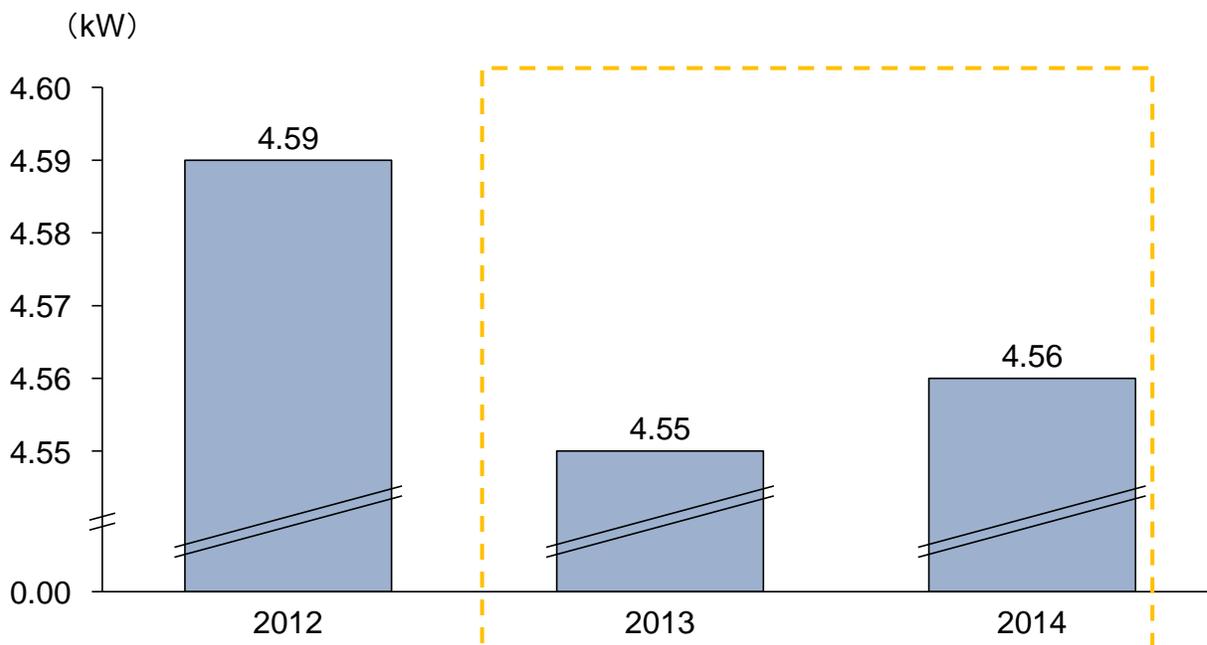


出所)住宅用太陽光発電システムにおける PCS の交換需要に関するアンケート調査
資源総合システム

上図から、本製品が全国へ展開される 2025 年度時点でおよそ 13 万台程度の需要が存在すると見込まれ、その後 17 万台弱まで拡大していくと予想される。その後、住宅用太陽光発電の市場の減退に伴って、PCS の交換需要も 15 万台強へ減退していくと予想される。太陽光発電市場が減退していく原因として、太陽光発電の固定買取価格の減少が主要因の 1 つであると考えられる。

平均的な住宅における太陽光発電システムの容量を 4.5kW と設定した根拠について述べる。本実証では、JPEA の住宅用太陽光発電補助金事業で公開されている 2012 年度～2014 年度の平均容量を参照した。

図 3-3-1-2.平均的な住宅における太陽光発電システムの容量



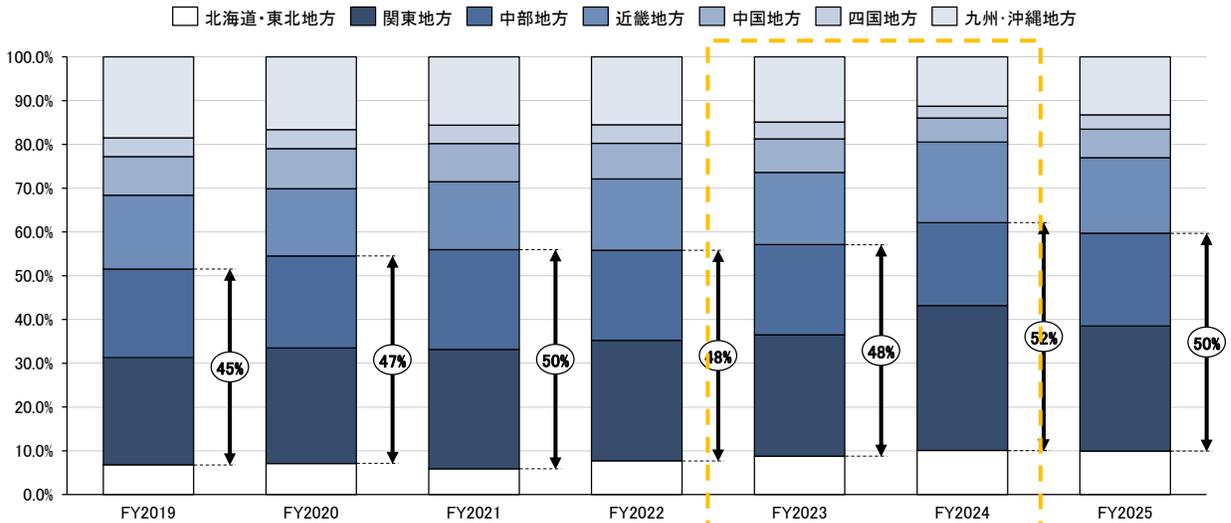
出所)JPEA 住宅用太陽光発電補助金 交付決定件数・設置容量データより NRI 作成

上図のオレンジ枠は、2013 年度および 2014 年度に設置された太陽光発電システムの平均容量であり、これらの PCS が、10 年後に交換需要を迎えることとなるため、図 3-2-4-1 における 2023 年度および 2024 年度に対応している。それぞれの値が 4.5～4.6kW の間に収まっていることから、今回の試算で仮定した容量 4.5kW という値は概ね正しいと考えられる。

② 本事業展開エリアにおける PCS 市場規模の算出

本製品の普及見通しの試算のためには、本事業が展開するエリアが段階的に拡大していくことを考慮する必要がある。そのためには、2023 年度～2024 年度における関東および中部エリアのシェアを算出する必要があるが、そのような統計データは見当たらなかった。そこで、代替する指標として、10 年前に設置された PV のエリア別シェアを参照することとした。その根拠としては、PCS は基本的に PV に伴って設置されること、および、PCS の交換サイクルが PV 設置後およそ 10 年であることが挙げられる。以下に、10 年前の太陽光発電システムのエリア別シェアを参考に、エリア別の関東および中部エリアの住宅用 PCS の交換需要シェアを示す。

図 3-3-1-3.住宅用 PCS の交換需要のエリア別シェア

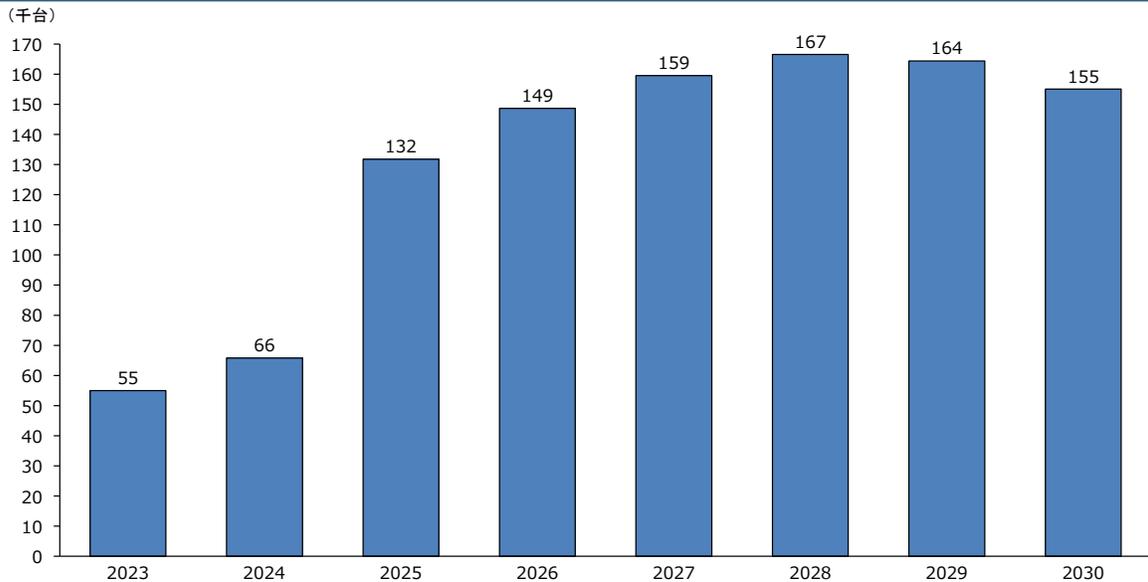


出所) 経済産業省 固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイトより NRI 作成

上図からわかるように、多少の変動はあるものの、毎年ほとんど一定でシェアは推移している。本試算では、エリアを関東および中部に限定して展開する期間は 2023 年度～2024 年度であるため、上図のうち、オレンジ枠で囲った部分を利用する。全国へ事業を展開する 2025 年以降の市場予測では、エリア別のシェアを考慮する必要はない。以上までの結果より、本事業展開エリアにおける PCS 市場規模を算出する。その結果を以下に示す。

図 3-3-1-4.本事業展開エリアにおける PCS 市場規模

本事業展開エリアにおける PCS 市場規模予測 (台数ベース)

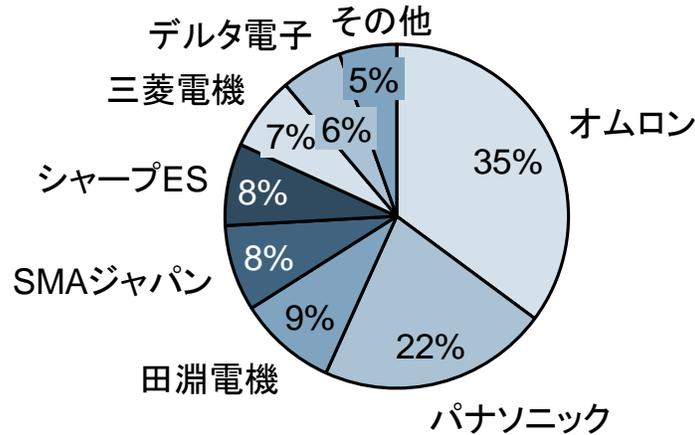


出所) 本実証におけるアンケート調査、資源総合システム、経済産業省 固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイトより NRI 作成

③ 本製品の市場における獲得シェアの算出

ここでは、本製品が販売された場合に獲得が見込まれるシェアを、市場における PCS メーカーシェアを参考に仮定した。以下に、上位の住宅用 PCS メーカーとそのシェアについて示す。

図 3-3-1-5.住宅用(容量: ~10kW)PCS メーカーのシェア

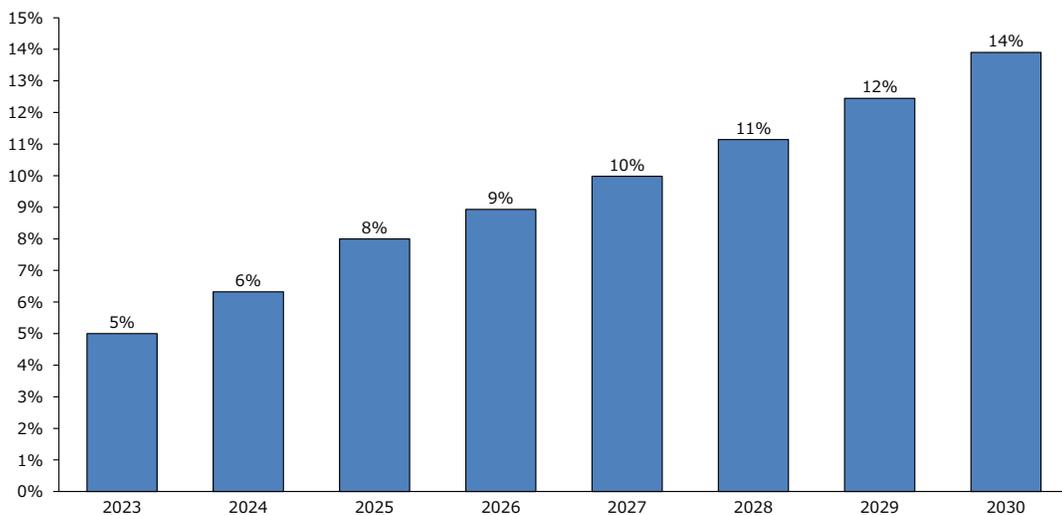


出所) 富士経済より NRI 作成

2023 年度においては、本製品の販売開始直後である一方で、3-2-3 で述べたように競合製品にはない蓄電機能を有している点が優位である点に鑑みて、市場におけるプレイヤーの 8 位以下(図 3-2-4-5 の“その他”分)に相当する 5%のシェアを獲得できると仮定した。

2030 年度では市場の拡大と、展開エリアの拡大で量産効果が高まると考えられるため、本製品の価格競争力が高まり、低価格を売りにしている競合のシェア(図 3-2-4-5 のデルタ電子および SMA ジャパンのシェア)の半分を追加で獲得できると仮定し、12%のシェアとなると仮定した。その間の期間については、CAGR でシェアは成長すると仮定した。以下に結果を示す。

図 3-3-1-6.本製品のシェアの推移

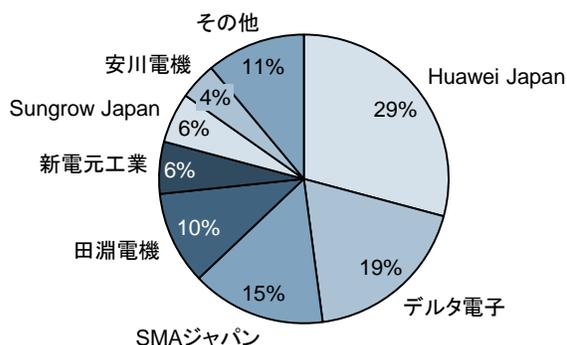


出所) 各種公開情報より、NRI 推定

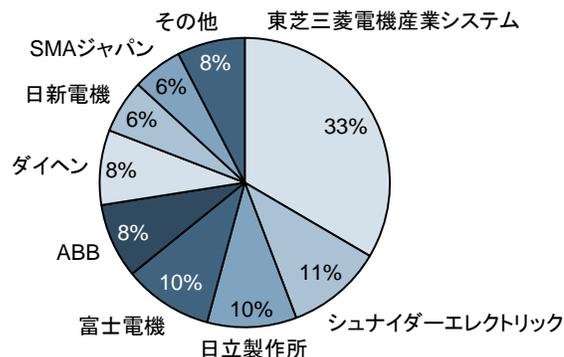
なお、住宅用以外のセグメントにおける PCS メーカーシェアについても調査を実施したので、参考情報として以下に示す。

図 3-3-1-7.非住宅用 PCS メーカーのシェア

容量10~100kW帯



容量100kW~帯



出所) 富士経済より NRI 作成

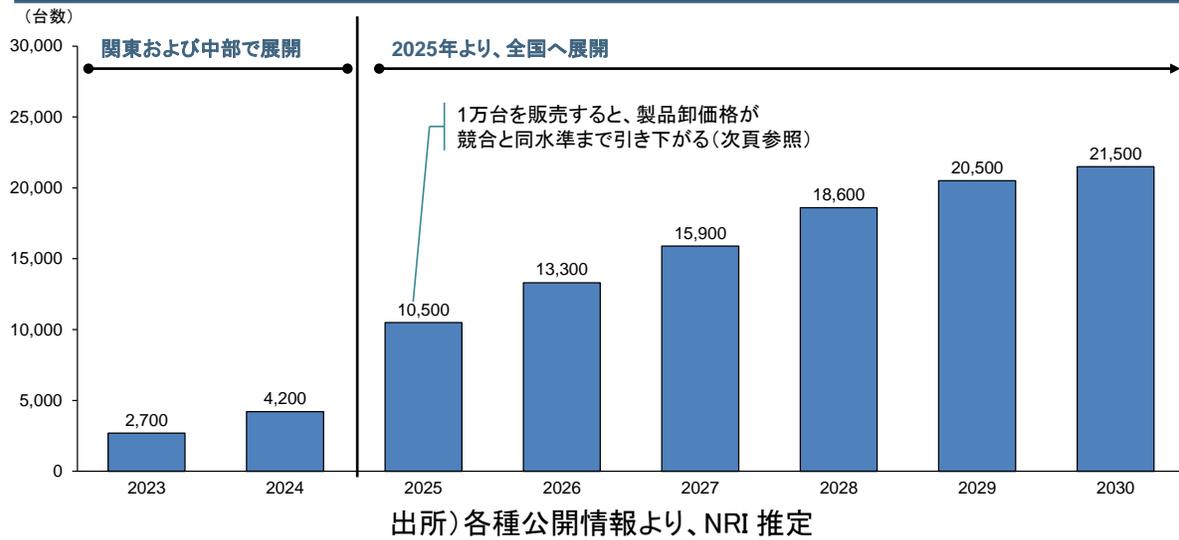
住宅用と比較すると、非住宅用では上位のプレイヤーの顔ぶれが異なっていることがわかる。特に 10~100kW 帯では 1~3 位までが海外メーカーであり、本セグメントで低価格の製品が好まれている傾向にあることが予想される。一方で 100kW~帯では、重電系のメーカーが並んでいる。

④ 本製品の販売台数の算出

以上①~③までの結果を元に、最終的な本製品の普及見通しを算出する。算出方法としては、②で示した本事業展開エリアにおける市場規模に③で示した本製品のシェアを乗算した。以下に結果を示す。

図 3-3-1-8.本製品の普及見通し

本製品の普及の見通し(台数ベース)



上図では 2023 年度～2030 年度の本製品の販売台数の見通しを示した。上図で示したように、2024 年度までは販売エリアが限定されるため、数千台程度の販売を予測しているが、全国展開後は、1 万台を超える規模で普及していくと考えられ、その規模は 2030 年度まで徐々に増加し、2 万台を超える規模になると算出される。

3-3-2.価格比較による競争優位性の検討

本章では、事業性の観点として、競合製品との卸価格を比較する。ベンチマークする競合製品は、平均的な住宅用PVの容量である4.5kWのPCSを対象とした。

本製品の卸価格の算出にあたっては、リユースLiBパックおよび本製品へ換装する為の電装部品を対象に、解体業者から使用済みLiBを購入し、製造するところまでを試算の範囲と設定した。また、試算において製造事業者のマージン・開発費・経費を以下のように仮定し、試算結果を示す。

マージン：平成29年度製造業実績の5.5%

(出典：2019年6月27日一般公開平成30年度経済産業省企業活動基本調査確報(平成29年度実績)第2章企業の収益構造)

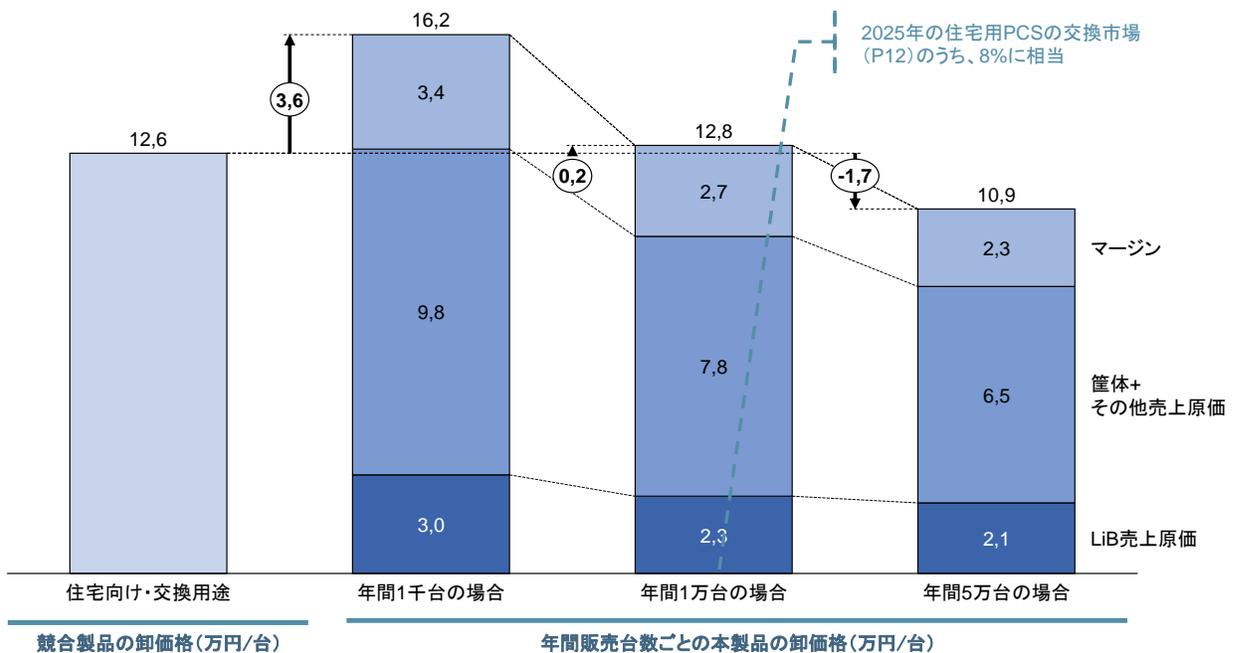
開発費：平成29年度製造業実績の5.02%

(出典：2019年6月27日一般公開平成30年度経済産業省企業活動基本調査確報(平成29年度実績)第5章研究開発、能力開発への取組状況)

経費：平成29年度製造業実績の15%

(出典：2019年6月27日一般公開平成30年度経済産業省企業活動基本調査確報(平成29年度実績)第2章企業の収益構造)

図 3-3-2-1.本製品の卸価格の見込み



出所)本実証におけるアンケート調査よりNRI作成

以上の試算から、本製品は年間1万台程度を販売できる2025年度で競合製品と同程度の価格水準となることが明らかになった。さらに、2030年度においては2万台程度まで販売台数が伸びると予想されるため、競合よりも価格を低減させることが期待できる。そのため、本製品の価格優位性が高まり、現在低価格を訴求ポイントとしているメーカーのシェアを一定程度獲得することが期待される。

4.事業化に向けた課題・対応策

3章では本実証における実証結果の詳細を説明した。本章では、各実証内容の成果と達成度、および事業化に向けた課題を纏めた結果を説明する。結果を表 4-1 に示す。

表 4-1.本実証における各タスクの目標と成果と達成度、今後の事業化に向けた課題のまとめ

実証内容(TASK)		担当	令和元年度目標	令和元年度		
				成果と達成度	事業化に向けた課題	評価
1. LIBスチライザーの 技術検証	1-1. 基礎技術 の開発	東北大学、 株式会社 アット・モバイル	1)Honda FITバッテリーでの 電力安定化の検証	モデル住宅で電力安定化機能を検証	特になし	◎
			2)安全性の検証	温度変化の観測により、安全性を検証	高出力での 電力安定化機能の検証	△
			3)簡易診断方法の確立	従来のセル単位ではなく、 モジュール単位で診断する方法を確立	パック単位での 診断方法の確立	△
	1-2. 事業化に向け た技術開発	東北大学、 株式会社 アット・モバイル	1)事業化に向けて、 顧客(販社)ニーズを調査	販売代理店や ハウスメーカーへの各種ヒアリングを実施	特になし	◎
			2)技術課題の抽出、 および、解決方針の検討	事業化に向けて必要となる 機能要件(技術課題)を抽出	技術課題の解決方針、 方法の検討	△
2. LIBスチライザー の事業モデル検討	2-1. 市場性の 評価・検証	株式会社 野村総合研究所	1)市場環境変化の描出	住宅用太陽光発電システムにおける PCS交換市場の市場環境変化を調査	特になし	◎
			2)市場規模の算出	各種アンケート調査で、対象市場規模を算出	特になし	◎
	2-2. 事業モデル・ ロードマップ立案	株式会社 野村総合研究所	1)事業モデル (=各VCの詳細)の設計	各VC(回収/製造/開発/販売/メンテ) における、保有機能、事業体を企画。	事業主体の具体化 各事業者とのパートナーリング交渉	○
			2)事業ロードマップの立案	各年度の行動計画を記載した 事業ロードマップを策定	特になし	◎
2-3. 事業性の 評価・検証	株式会社 野村総合研究所	事業規模の算出	競合価格優位性の検証、 コスト削減シナリオの策定	事業化に向けた さらなるコスト削減方法の検討	△	

表 4-1 では、個別タスクの達成度に関して、◎:課題なし、○:来年度中に課題解決予定、△:課題解決は来年度以降、×:課題解決は不可能の 4 つで評価した。

TASK1-1 では基礎技術の開発として、ホンダのフィットバッテリーを用いた電力安定化の検証、安全性の検証、簡易診断方法の確立の 3 項目の実証実験を進めた。一つ目の電力安定化の検証に関しては課題を残すことなく検証することが出来た。二つ目の、安全性の検証に関しては、住宅用としては十分な出力で検証することが出来た一方で、低圧・C&I ルーフトップ用等で必要となる 10kW 以上での検証までは行うことが出来なかった。また、夏期での運転検証も残課題として残った。三つ目の簡易診断方法の検証に関しては、本実証で従来のセル単位での診断から、モジュール単位での診断が可能になった。これより、診断スピードの向上、診断コストの削減を進めることが出来ると思料する。今後は、さらに効率的な診断であるパック単位での診断方法を確立することが課題となる。

TASK1-2 では、事業化に向けた技術開発として、販売代理店・ハウスメーカーへのニーズヒアリング、ニーズ実現に向けた技術課題の抽出、解決方針の検討を行った。合計 10 社の販売代理店・ハウスメーカーとディスカッションすることが出来たため、事業化に向けて必要となる技術要件はおおよそ抽出できたと考えている。周波数調整機能の実装など、事業化に向けては技術開発が必須である一方で、解決方針を具体化できていない課題も多く、今後は、TASK1-2 で抽出した技術の開発方針の検討を進めることが課題となる。

TASK2-1 では、本事業においてターゲットとする市場を明確にした上で、対象市場における事業環境変化を整理するとともに、対象市場における市場規模を算出した。

本事業では参入障壁が他市場に比べて高くない点やエネルギービジネスの広がりが大きい点より、住宅用向け×交換製品をターゲットとした。また、各種ヒアリングで得た、低価格化が進みつつあること、交換を担当する多くの事業者が撤退していること、等の情報を元に市場環境変化を整理した。また、市場規模の算出では、実態を反映した市場規模を算出することに留意した。実際の交換需要は、一般的に交換時期として定義されている10年という時期とは異なるため、実際の交換を担当する販売代理店・ハウスメーカーへのアンケート調査を実施することで、実態を反映した交換需要予測を実施した。

TASK2-2 では、本事業における事業モデル・ロードマップを立案した。提供顧客、提供製品、提供プロセスの3つの観点から検討を進めた。提供顧客の観点では、直接最終諸費者へと販売、販売代理店経由で最終消費者へと販売、PVメーカー経由で最終消費者へと販売の3つのオプションを検討した上で、現在のサプライチェーンの観点から、販売代理店経由で最終消費者へと販売するオプションを採用した。提供製品の観点では、LIBスタビライザーを単体で販売する、もしくは、LIBスタビライザーとストレージ用の蓄電池をセットで販売するオプションを検討した。既にニーズが顕在化しているため、LIBスタビライザーを単体で販売するオプションを採用した。提供プロセスの観点では、回収工程で回収コストを最小化するスキーム、製造工程で製造コストを最小化するスキーム、販売・保守/メンテナンス工程では、販売を促進するためのリース形式でのスキームを検討した。今後の課題としては、事業者主体の具体化を進めるとともに、各事業者とのパートナーリング交渉を進める必要があると考えている。

TASK2-3 では、本事業における競合と比較した経済合理性を計算することで、事業性を検証した。競合製品の卸価格をアンケート調査した上で、目標価格を設定した。その上で、各種データを参考に年間生産台数ごとのLIBスタビライザーの販売価格(=卸価格)を算出した。その結果、年間1万台(2025年度のPCS交換需要における8%程度)を販売できた場合、競合製品価格よりも競争優位性を構築できる可能性があることが分かった。そして、上記分析結果を前提に、本製品の普及台数を試算した。

以上が、本実証での成果と達成度のまとめである。

5.環境影響

5-1.インベントリ・バウンダリの考え方

環境影響を評価するため、ベースラインとしてホンダフィットHVの廃自動車(ELV)からLiBを回収し、リサイクルする場合を想定し、本実証でLiBスタビライザーとしてリユースした場合のCO₂排出量を比較する。本実証におけるCO₂削減効果を測定するにあたり、LiBスタビライザーの主要部品である使用済HV車載用リチウムイオン蓄電池(以降、使用済LiBとする)と、LiBスタビライザーが代替する太陽光発電システムで使用するパワーコンディショナー(PCS)の2つに着目してベースラインを設定し、本実証において比較するバウンダリについて検討した。

5-1-1.インベントリにおけるベースラインシナリオ

HV車載用リチウムイオン蓄電池:

本実証において使用するLiBは、ホンダフィットHVの廃自動車(ELV)から取り外されたものであり、現状ではリユースされておらず、ELVから取り出し後はホンダの回収プログラムの適用によりリサイクル拠点へ輸送される。

パワーコンディショナー(PCS):

本実証におけるLiBスタビライザーは太陽光発電システムで使用するパワーコンディショナー(PCS)と同等の機能を有し、PCS代替できるものである。PCSのライフサイクルにおける製造、輸送(新規設置時と廃棄時)、使用にかかるCO₂排出を対象とする。

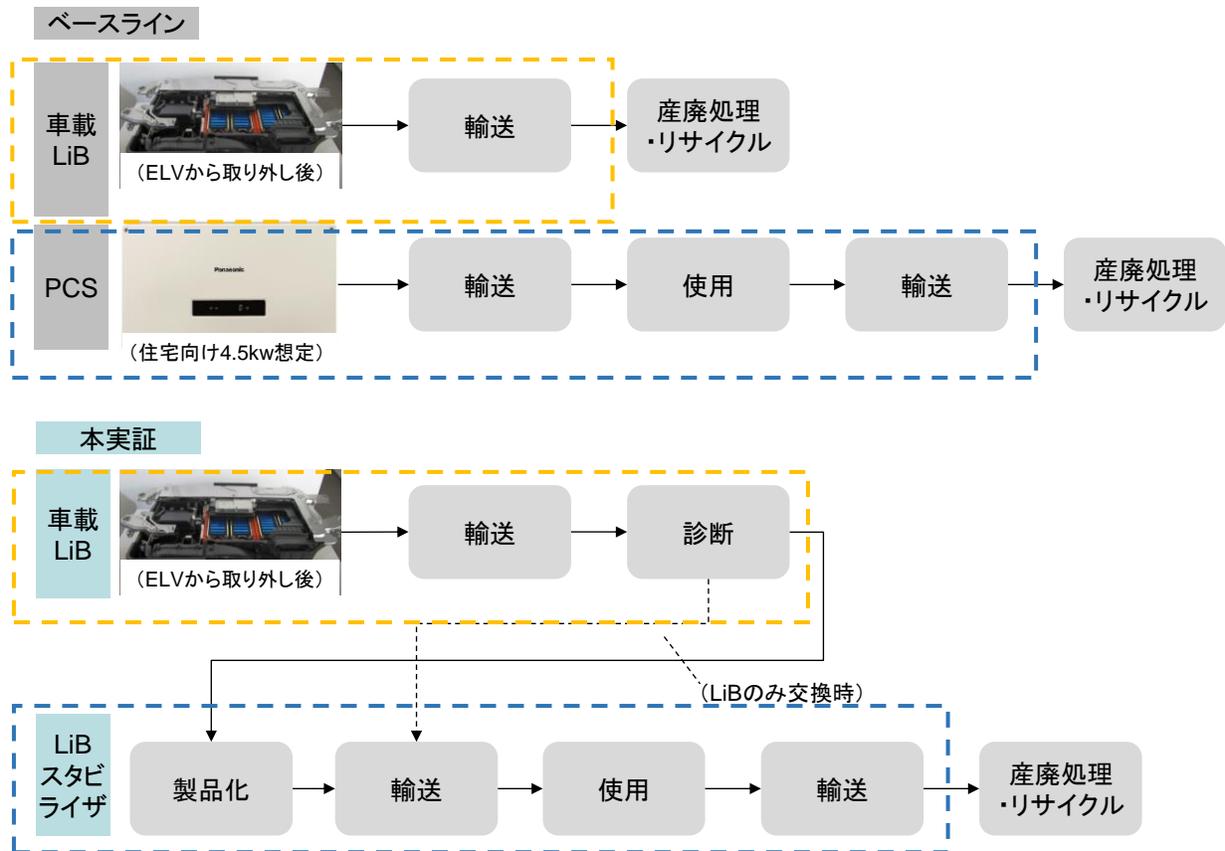
ただし、太陽光発電システムのライフサイクルは一般的に20年であるのに対し、PCSの耐用年数は10年(保証期間)～約15年程度であることから、ライフサイクルを通じてPCSが2台必要になることを前提としている。

5-1-2.インベントリにおける比較対象となる本実証のシナリオ

本実証において、ベースラインのHV 車載用リチウムイオン蓄電池に対して、ELV から使用済 LiB の取り外し、リユース拠点までの輸送を比較対象とする。ベースラインのパワーコンディショナーに対しては、LiB スタビライザーの製造、輸送（新規設置時と廃棄時）、使用にかかる CO2 排出を比較対象とする。

LiB スタビライザーの使用済 LiB は車載で約 10 年使用されているため、LiB スタビライザーとしての耐用年数は PCS と同じように約 10 年と設定している。太陽光発電システムの一般的なライフサイクルである 20 年においては、使用済 LiB が 2 台必要になると設定している。ただし、筐体・配線など LiB スタビライザーを製造する際の新規部品等は 20 年使用できるものとして、LiB スタビライザーの交換においては、使用済 LiB のみを輸送・交換するものとする。

図 5-1-2.本実証におけるベースラインと比較対象のバウンダリ



5-2.CO2 削減効果の試算

5-2-1.算出根拠

使用済 LiB の輸送にかかる CO2 排出量:

ELV から取り外した LiB の重量は約 50kg であり、輸送距離は全国からリサイクル拠点への平均的な距離として、300km と設定した。ただし、使用済 LiB の輸送にかかる安全性を考慮し、輸送にかかる CO2 排出係数は、2トン車・積載率 25%としている。(IDEAv2.3 製品コード:441111205)

【計算式】

$$\begin{aligned} & \text{使用済 LiB 重量 (t)} \times \text{輸送距離 (km)} \times \text{CO2 排出係数 (kg-CO2/tkm)} \\ & = 0.05(\text{t}) \times 300(\text{km}) \times 0.962(\text{kg-CO2/tkm}) \\ & = 14.4\text{kg-CO2/回} \end{aligned}$$

PCS 製造にかかる CO2 排出量:

PCS(住宅向け 4kW)の製造にかかる CO2 排出量は「平成 19~20 年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書 太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究」の製造にかかる CO2 排出量は 67.31kg-CO2/台となっており、これを採用した。

また、PCS 交換時における交換部品供給(PCS1 台)にかかる CO2 排出量は 70.49kg-CO2/台であることから、PCS の輸送にかかる CO2 排出量は 3.18kg-CO2/台であると算出される。

LiB スタビライザー製造にかかる CO2 排出量:

使用済 LiB の輸送、診断、製造(インタフェース、筐体、配線材料)、LiB スタビライザーの輸送の各段階における CO2 排出量を下記のように算出する。

輸送 (1 台あたり)	重量 (t)	輸送距離 (km)	CO2 係数 (kg-CO2/tkm)	CO2 排出量 (kg-CO2)
使用済 LiB	0.05	300	0.962※1	14.4
LiB スタビライザー	0.09	300	0.485※2	13.1

※1 IDEAv2.3 製品コード:441111205トラック輸送サービス, 2トン車, 積載率 25%

※2 IDEAv2.3 製品コード:441111203トラック輸送サービス, 2トン車, 積載率 50%

診断 (1 台あたり)	消費電力 (kWh)	CO2 係数 (kg-CO2/kWh)	CO2 排出量 (kg-CO2)
LiB	0.1	0.455※3	0.05

※3 東京電力 2018 年度の CO2 排出係数

製造 (1 台あたり)	重量 (kg)	CO2 係数 (kg-CO2/kg)	CO2 排出 量 (kg-CO2)	備考 (CO2 係数の出所)
インターフェース基板 (銅相当)	0.5	1.61	0.81	社団法人 未踏科学技術協会、環境負担性評価調査委員会／「環境負担評価システム構築のための基礎調査研究」調査報告書
筐体(鉄相当)	20	1.24	24.80	社団法人 未踏科学技術協会、環境負担性評価調査委員会／「環境負担評価システム構築のための基礎調査研究」調査報告書
配線材料	-	-	13.37	平成 19～20 年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書 太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究(各種 PV の平均値)

5-2-2.試算結果

太陽光発電システムを 20 年使用するにあたり、PCS の耐用年数が 10 年～15 年であるため、PCS 交換が 1 回必要となる。本実証では、住宅向けの PCS 交換需要との比較を行うと、PCS 交換による CO2 排出量は 76.85kg-CO2/台に対し、LiB スタビライザーは 79.63kg-CO2/台となり、LiB スタビライザーの交換により 2.77kg-CO2/台の増加となった。

品目(1台あたり)		CO2 排出量(kg-CO2/台)			
		製造	輸送	廃製品回収	合計
PCS 交換	交換用 PCS	67.31	3.18		76.85
	取り外した新規 PCS			3.18	
	取り外した交換 PCS			3.18	
LiB スタビライザー	使用済 LiB	14.40	13.10	13.10	79.63
	診断	0.05			
	インタフェース	0.81			
	筐体	24.80			
	配線材料	13.37			

一方で、今後 LiB スタビライザーの市場開拓において、太陽光発電システムの新規設置時から LiB スタビライザーを 20 年間使用することも想定しており、PCS 使用との CO2 排出量の比較を以下のように行った結果、新規設置時では、PCS2 台使用時が 170.97kg-CO2 となり、LiB スタビライザーは使用済 LiB を 1 回交換することで 108.49kg-CO2 となった。

20 年間のライフサイクルにおける CO2 削減効果は 62.50kg-CO2/式となった。

品目(1式あたり)		CO2 排出量(kg-CO2/台)			
		製造	輸送	廃製品回収	合計
PCS	新規 PCS	67.31	3.18		170.97
	接続箱	10.26			
	配線材料	13.37			
	交換用 PCS	67.31	3.18		
	取り外した新規 PCS			3.18	
	取り外した交換 PCS			3.18	
LiB スタビライザー	使用済 LiB	14.4	13.10	13.10	108.49
	診断	0.05			
	インタフェース	0.81			
	筐体	24.80			
	配線材料	13.37			
	交換用 LiB(リユース拠点へ)		14.40		
	交換用 LiB の診断	0.05			
	取り外した LiB			14.40	

以下に参考として、野立てにおける太陽光発電システム(100kWとして)における PCS 交換代替または新規設置時による CO2 削減効果を示す。

本事業におけるヒアリングにより、野立てにおける太陽光発電システムの発電事業者は、PCS のコストと故障時のリスク分散の観点から、一般的に住宅用 LiB スタビライザー(4.5kW)を配置しているため、100kW の太陽光発電システムでは PCS を約 22 台使用している。これに対し、LiB スタビライザーは 1 台で 10kW の太陽光発電システムに対応できることが確認されており、100kW の太陽光発電システムでは LiB スタビライザーを 10 台使用することで対応できる。

既設の太陽光発電システムにおける PCS 交換代替:

PCS22 台交換による CO2 排出量は $1,690.70\text{kg-CO}_2$ ($76.85\text{kg-CO}_2/\text{台} \times 22 \text{台}$) に対し、LiB スタビライザー10 台代替による CO2 排出量は 796.25kg-CO_2 ($79.63\text{kg-CO}_2/\text{台} \times 10 \text{台}$) であり、CO2 削減効果は 894.45kg-CO_2 となる。

新設の太陽光発電システムにおける LiB スタビライザー利用:

PCS22 台を新規および交換した際の CO2 排出量は $3,761.34\text{kg-CO}_2$ ($170.97\text{kg-CO}_2/\text{台} \times 22 \text{台}$) に対し、LiB スタビライザー10 台の新規および交換による CO2 排出量は $1,084.75\text{kg-CO}_2$ ($108.48\text{kg-CO}_2/\text{台} \times 10 \text{台}$) であり、CO2 削減効果は $2,676.59\text{kg-CO}_2$ となる。

6.事業化可能性の検討

6-1.他用途での販売可能性

6-1-1.他用途での販売可能性概要

本実証では、住宅用向け×交換製品を対象に事業を展開することを想定している。しかし、4章で記載したように事業化に向けては未だ課題が存在していると認識している。事業化を見据えた上で、価格面での競争優位性を構築するためには、販売台数を確保する必要がある。そこで、本実証では、住宅用×交換製品以外の市場に対しても、販売可能性を検討した。

住宅用×交換製品以外での販売可能性に関しては、2つのオプションが存在すると考えている。A.直流給電×オフグリッド環境下向けに販売する、B.低圧/C&I ルーフトップ用向けに販売する、という2つのパターンである。A.直流給電×オフグリッド用途向けに販売するというパターンでは、AC/DCを切り替えるためのインバータコストが削減できる点、そもそも系統接続されていないオフグリッド環境下で使用するため周波数調整機能の実装が必要ない点などがLIBスタビライザーとの適合性が高い。しかし一方で、直流×オフグリッド環境の市場は小さいため、現段階では事業拡大を望むことは難しいことが問題である。また、B.低圧/C&I ルーフトップ用向けに販売するパターンでは、設置スペースが住宅などと比較して広いため、一般のPCSよりも製品筐体が大きいために販売障壁にならない点などが本製品との適合性が高い。一方で、周波数調整機能の実装や、信頼性の検証などは、住宅用以上に求められる。そのため、住宅用で実績を蓄積することが必要となるのが実態である。下記の図6-1-1に示す。

図 6-1-1.他用途での販売可能性の検討

住宅用向け×交換市場以外での販売可能性		オプション	本製品との適合性	事業化に向けた課題
住宅向けの販売 以外での事業化	Option 1	直流×オフグリッド環境 向けの販売	<ul style="list-style-type: none"> インバータ設置コストが削減できる 高出力・高効率で、PV電力を使用可能であるため、価格競争力を保持しやすい 周波数調整機能がない点（売電できない点）によるデメリットが生じない 	<ul style="list-style-type: none"> 想定顧客の具体化（直流×オフグリッド市場は極少）
	Option 2	低圧/C&Iルーフトップ 向けの販売	<ul style="list-style-type: none"> 設置可能面積が広いいため、製品サイズによるデメリットが生じない 10kWの整流機能がオーバースペックとならない（住宅用は10kW未満で十分） 	<ul style="list-style-type: none"> 売電機能の実現に向けた周波数調整技術の検討 コスト削減に向けたシステム構成の見直し 想定顧客の具体化

6-1-2.直流給電×オフグリッド環境下での販売可能性

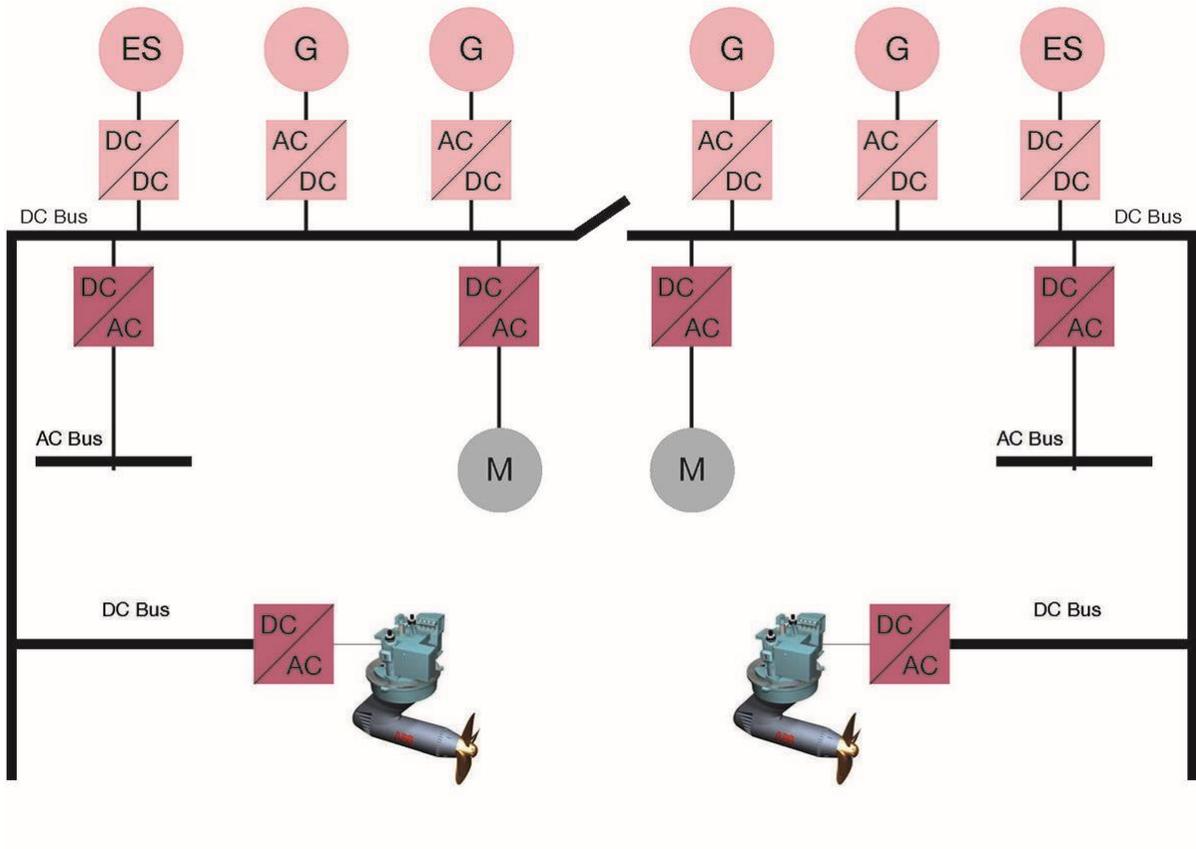
住宅用向け×交換製品以外の市場としては、直流利用×オフグリッド環境下での活用が考えられる。前述のように、直流給電する際には、LiBスタビライザーにインバータを併設する必要がない上に、高出力・高効率でPVの電力を使用できるため、競合製品と比較して価格競争力を保持しやすいと考えられる。また、オフグリッドの場合、売電など、系統連系出来ないことによるデメリットが生じない。これより、本製品との適合性が高い市場であると考えられる。以下の図 6-1-2-1 に纏めた結果を示す。

図 6-1-2-1.直流給電×オフグリッド環境下における本製品との適合性

現在までの検討結果		今後の検討方針	
● 現在まで、「交流×系統連携」におけるLiBスタビライザーの用途を検討		● 今後は、「直流×オフグリッド」におけるLiBスタビライザーの用途を検討	
	検討結果(現時点)		検討理由
交流	<ul style="list-style-type: none"> LiBスタビライザーを介して交流給電する場合、インバータを併設する必要があるため、LiBスタビライザーの販売価格にインバータコストが上乗せされる。そのため、交流では価格競争力が保持できない。 	直流	<ul style="list-style-type: none"> 直流給電する際には、LiBスタビライザーにインバータを併設する必要がない上に、高出力・高効率でPVの電力を使用できるため、競合製品と比較して価格競争力を保持しやすいと考えられる。
系統連携	<ul style="list-style-type: none"> LiBスタビライザーは、技術制約上、系統連系出来ないため、売電が出来ない。そのため、売電できる製品と比較して、顧客がLiBスタビライザーに価格メリットを感じにくい。 	オフグリッド	<ul style="list-style-type: none"> オフグリッドの場合、売電など、系統連系出来ないことによるデメリットが生じない。

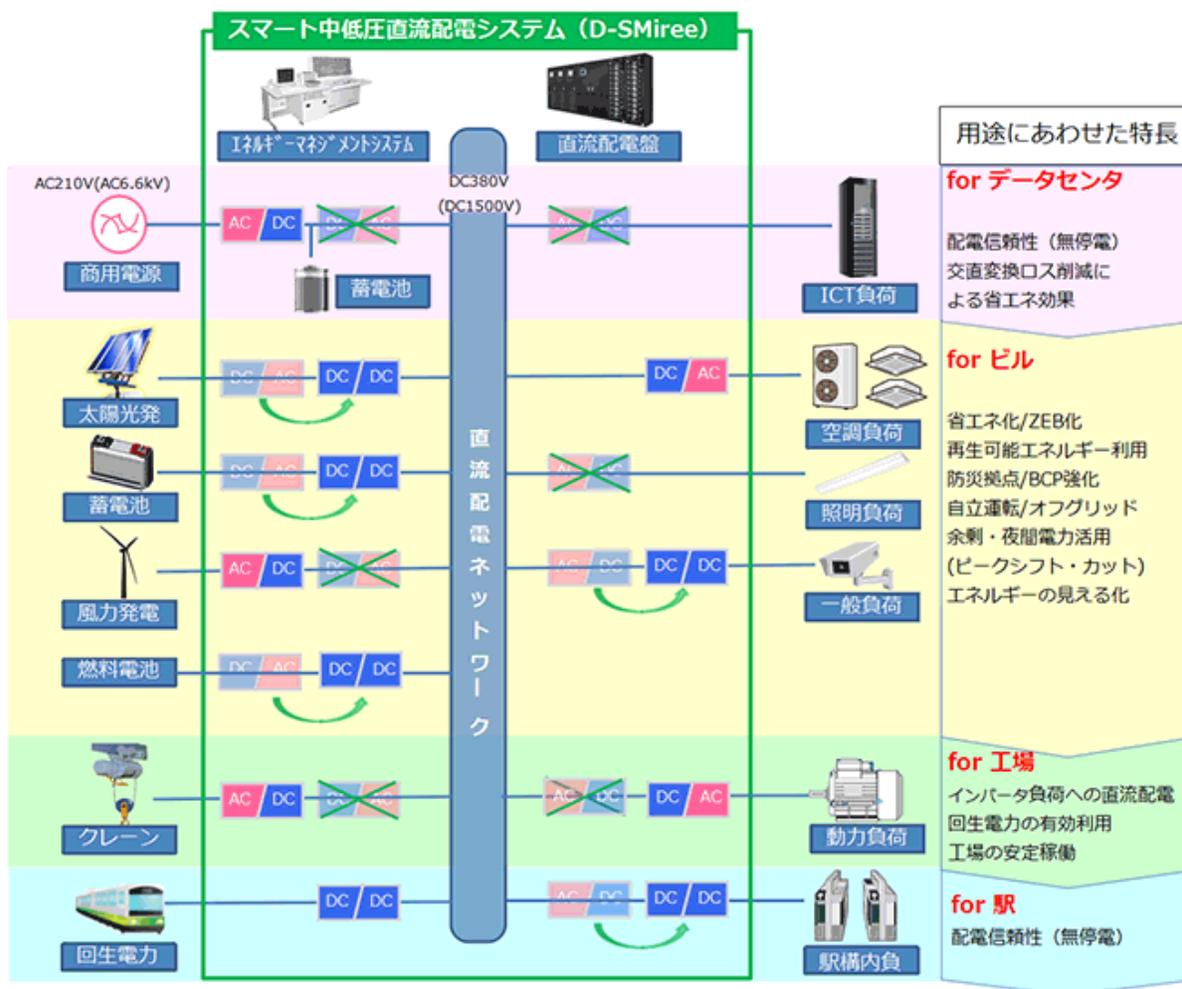
直流給電×オフグリッドにおける活用事例を示す。国外では、ABB が船舶会社 Myklebusthaug Offshore 社向けに導入した船の駆動システムなどと DC 配電システムが一体化したパッケージを導入した事例などが存在する。また、国内でも、三菱電機のスマート中低圧直流配電システム D-SMiree などの事例が存在している。三菱電機はデータセンターやビル、工場、駅向けに D-Smiree を提供していく考えを持っており、2016 年 7 月から 380V 級の直流配電システムの実証を開始し、順次 380V 級システムを市場投入することを発表している。なお、2017 年以降は 1500V 級システムまで適用範囲を拡大し、国内・海外市場に展開することを志向している。未だ、市場としては黎明期ではあるものの、本製品との適合性は高いと言えるため、継続的に情報を収集する必要があると考えている。それぞれ、公式 HP より抜粋した資料を、図 6-1-2-2、図 6-1-2-3 に示す。

図 6-1-2-2.DC 配電システム—体形駆動システム



出所) ABB 社の公式ホームページ

図 6-1-2-3.三菱電機スマート中低圧直流配電システム D-SMiree



出所)Power Academy HP, 三菱電機ニュースリリース

6-1-3.低圧/C&I ルーフトップ用向けの販売可能性

低圧・C&I ルーフトップ用の検討結果に関して説明する。実際には、低圧・C&I ルーフトップ用は、住宅用と比較して、信頼性や保守・メンテナンスサービスの迅速性に求める水準が高いため、住宅用向けに事業を開始することが必要となるが、今後の拡大可能性として、低圧・C&I ルーフトップ用向けに関しても検討した。

低圧・C&I ルーフトップ用向けに、LIB スタビライザーの販売可能性があるかどうかを、販売代理店に対してヒアリングして確認した。その結果、C&I ルーフトップ用向けに対しても、LIB スタビライザーが適合する可能性が高いことを確認することが出来た。ヒアリング結果のまとめを下記の図 6-1-3-1 に示す。

図 6-1-3-1.低圧・C&I ルーフトップ用の販売可能性

低圧・C&Iルーフトップ用 への適合性	販売代理店によるコメント
<p>フットプリントの制約が存在しない (設置可能面積が広い)</p>	<p> 販売代理店インタビュー</p> <ul style="list-style-type: none"> 低圧産業用PCSであれば、屋外に設置可能であるため、筐体の大きさも問題にならない。
<p>低圧用に 適している理由</p> <p>10kWがオーバースペックとならない (kW単価で競争優位性がある可能性)</p>	<p>コメントなし</p> <ul style="list-style-type: none"> 住宅用では、10kW以下のインバータを設置することで、ダウンスペックして活用することを想定していたが、野立て・低圧用では10kWのインバータを設置して活用することが可能。その結果、競合製品と比較して、kW単価で競争優位性がある可能性
<p>0.86kWhに対するニーズ が見込める</p>	<p> 販売代理店インタビュー</p> <ul style="list-style-type: none"> LiBスタビライザーの売り文句を、「蓄電機能があるため、PCSを交換すると何もせずに出力抑制や上げのDRに対応できる」とする方が、販売するイメージが湧く。

● 但し、売電を主目的として設置された製品が多いため、売電機能の追加 や 故障対応力の強化 は不可欠である

出所)各種ヒアリング

低圧・C&I ルーフトップ用として適合度が高い理由の1つが、フットプリントの制約が存在しない点である。低圧・C&I ルーフトップ用として設置されている場所は、設置可能面積が広いと、LIB スタビライザーの筐体サイズが問題にならないのではないかと考えられる。また、低圧用は、発電力が大きいと判断された 0.86kWh を複数個組み合わせて活用することで、十分な容量を確保することが可能になる。実際に複数個活用することで、容量を拡大できた場合、出力抑制や上げ DR に対応できるのではないかとコメントを頂戴している。また、LIB スタビライザーは、未検証ではあるが、理論上、一台で 10kW まで対応することが可能である。そのため、低圧・C&I ルーフトップ用向けの競合製品と比較した際に、コストメリットを発揮できるポテンシャルがあると考えている。

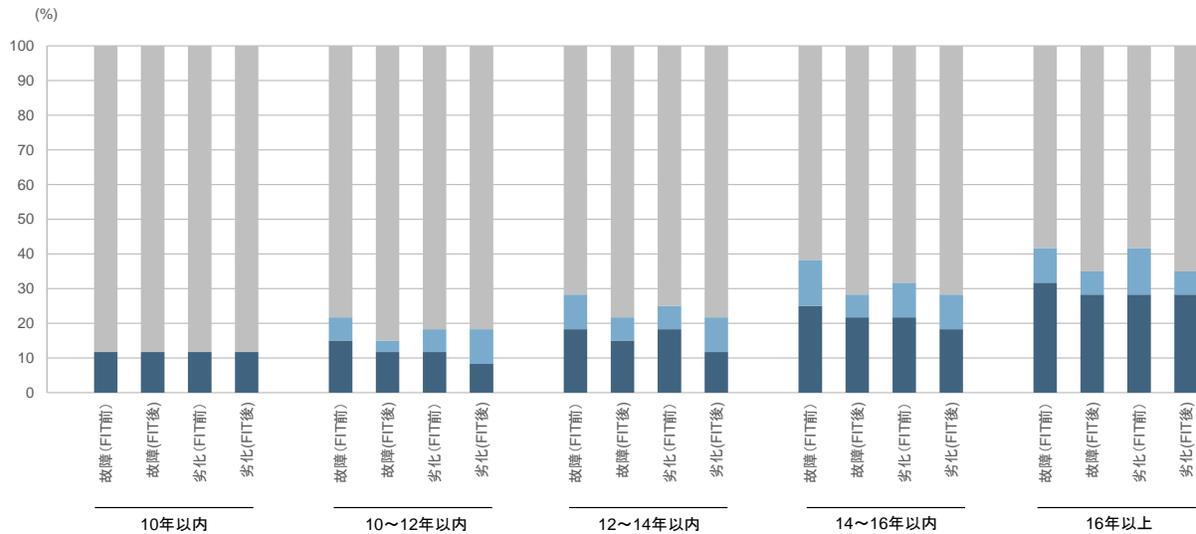
住宅用向けに実施した製品価格・交換タイミングに関するアンケート調査を低圧・C&I ルーフトップ用向けについても実施した。

本アンケートは、住宅用向けに実施したアンケートと同様の調査項目で設計した。結果としては、販売から 10 年以内の場合、故障による交換:10%前後、劣化による交換:10%前後であることが分かった。また、販売から 10 年以上が経過すると、故障による交換:10~30%、劣化による交換:10~30%であることが分かった。この割合は、住宅用よりも若干高い結果となっている。これは、低圧・C&I ルーフトップ用は、住宅用に比べて、稼働率が高いことが要因であると考えられる。得られた調査結果を以下の図 6-1-3-2 に示す。

図 6-1-3-2.製品販売後の経過年数別低圧・C&I ルーフトップ用 PCS の交換割合(アンケート調査結果)

製品販売後の経過年数別 低圧産業用PCSの交換割合(WEB調査結果)

劣化 / 故障した上で交換されない製品 劣化 / 故障した上で交換される製品



調査概要： 販社 / ハウスメーカを対象に、野立て・低圧産業用PCSにおける販売後の経過年数、販売時期(FIT制度制定前、FIT制度制定後)別の「故障 / 劣化する製品の割合」と「故障 / 劣化した上で交換される製品」の割合を調査(※実績値を元に一部 予測値で回答)

出所) 低圧産業用太陽光発電システムにおける PCS の交換需要に関するアンケート調査

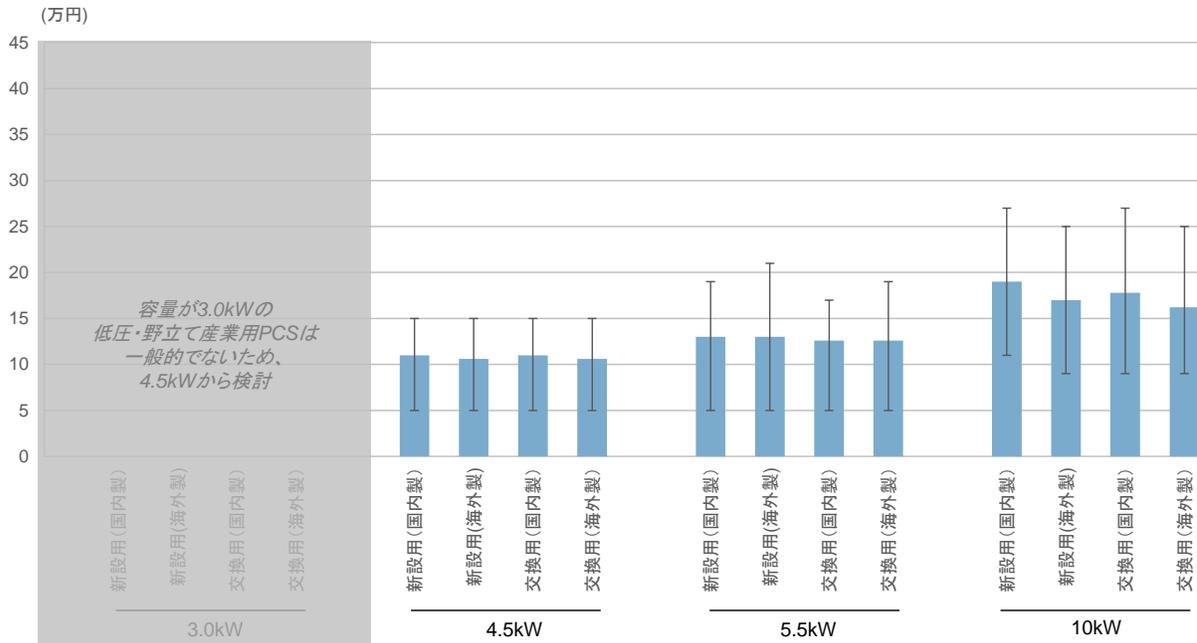
他方で、住宅用向けと同様に、競合製品価格に関するアンケート調査も実施した。

なお、低圧用としてはサイズの小さい 3.0kW サイズはアンケート対象から外した上で調査した。調査結果を、以下の図 6-1-3-3 に示す。

図 6-1-3-3.低圧・C&I ルーフトップ用向け 太陽光発電用 PCS の仕入れ価格

出力別 低圧産業用PCSの仕入れ価格

■ 野立て・低圧産業用PCSの調達価格平均値（最大値と最小値の範囲も記載）



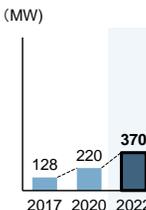
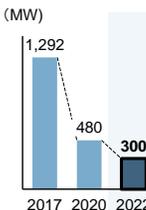
調査概要： 販社 / ハウスメーカーにおいてPCSメーカー等から野立て・低圧産業用PCSを調達する際の調達価格を調査。
PCSの用途が新設用 / 交換用か、また、PCSメーカーが国内製 / 海外製が分類した上で、PCSの出力別に価格を整理。

出所) 低圧産業用太陽光発電システムにおける PCS の仕入れ価格に関するアンケート調査

調査の結果、低圧産業用 PCS の調達価格(本製品の目安となる価格)は、「4.5kW:11 万円」「5.5kW:13 万円」「10kW:17 万円」が目安となることが分かった。これは、出力別で考えた場合、大量購入を前提にしていることもあり、住宅用に比べて若干低価格であることが分かった。但し、低圧用は 10kW サイズが一般的なサイズとなるため、製品単価は高いといえる。

最後に、市場概要に関する考察である。低圧・C&I ルーフトップ用の市場規模を分類した上で、それぞれの市場規模、設置場所例、用途・目的、商流を整理した。図 6-1-3-4 に示す。

図 6-1-3-4.低圧・C&I ルーフトップ用向け市場概要

	市場規模 ※1	設置例	用途・目的	商流
容量: 10~50kW PV導入量におけるシェア 20%	住宅の屋根上	極小のため割愛 ・ 戸建住宅、車庫 ・ 小型集合住宅 10kWを超える場合、住宅でも“低圧連係”の手続きが必要	・ 売電	・ 住宅用と同様
	事業所の屋根上	(MW)  ・ 安定した需要がある業種 (冷凍倉庫など) ・ ピークが立つ業種 (工場、小売店) ・ 環境投資に積極的な企業	・ 自家消費 ・ ピークカット	・ 販社や施工会社が新たに営業部隊を作り、販路拡大を狙う ・ 自社屋根に搭載することもあり、信頼性の観点から日本製品の採用が増える見込み
	野立て(地上)	(MW)  ・ 地方部の遊休地 ・ 事業所近辺	・ 売電	・ 販社や施工会社が投資家向けセミナーや金融機関からの紹介で販売を促進 ・ モジュールは安価な海外製品が選ばれている

※1)ターゲット市場の選定(対象市場の観点)とは、区分が異なる

出所)シートプランニング社『2019年版 住宅、低圧用 エネルギーソリューションの市場動向調査』

当該市場は、住宅の屋根上、事業所の屋根上、野立て(地上)に大きく分類することが可能である。1つ目の住宅の屋根上とは、売電を目的として小型集合住宅等の屋根の上に設置された PV を指している。但し、現在の市場規模は 10kW~50kW の市場の中では大きくない。2つ目の事業所の屋根上とは、自家消費やピークカットを目的として、倉庫や工場、小売店の屋根の上に設置されたものを指している。現在の年間の販売量は 200MW 程度であり、今後さらに拡大していくことが予想されている。3つ目の野立て(地上)とは、地方部の遊休地や事業所近辺で売電を目的として設置されたものを指している。現在の市場規模は年間 400MW 程度であるが、今後、設置場所が限られてくることから、300MW 程度まで縮小してしまうことが予想されている。本製品は 2023 年に事業を開始することを想定している、そのため、今後の拡大を狙う場合は、野立て(地上)を狙っていくことが良いのではないかと考えられる。また、交換製品としてではなく、新規製品として販売する場合には、事業所の屋根上を対象にすることも想定される。