


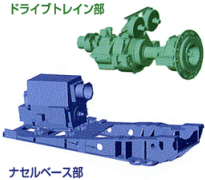

3. 風力発電設備のリユース・リサイクル・適正処分に関する検討

3.1 風力発電設備のリユースに関する基礎情報

3.1.1 風力発電設備のリユース形態と市場ニーズ

風力発電設備（以下、風車とする）のリユース形態としては、表 3-1 に示す 3 種類が想定される¹⁴。

表 3-1 風車のリユース形態と市場ニーズ

リユース形態	概要	市場ニーズ
風車単位 	何らかの理由で、設計寿命前・故障前に使用済となった風車を、他の場所に移設し、風車ごと再利用する。	<ul style="list-style-type: none"> 高価な新品風車購入のための資金調達が困難なため、あるいは高価な新品風車では採算が合わないため、安価な中古風車を購入したい。 広大な土地があり、高価な新品風車よりも、安い中古風車を多く設置した方が事業採算性がよい。
部品単位 ¹⁵  ドライブトレイン部 ナセルベース部	何らかの理由で、設計寿命前・故障前に使用済となった付加価値の高い部品（増速機、発電機等）を、他の風車で再利用する。	<ul style="list-style-type: none"> 事業期間数年を残して部品が故障した場合、高額な新品の増速機や発電機では採算が合わないため、安価な中古部品を購入したい。 調達期間が数か月かかる場合、その間の発電停止による事業収益への影響が大きいため、すぐに調達できる中古部品を購入したい。 同じ型式の部品が製造中止になっているため、中古部品を購入したい
部材単位 ¹⁶ 	何らかの理由で使用済となった部品を構成する、軸受、ボルト、歯車等の部材を、他の風車で再利用する。	<ul style="list-style-type: none"> 新品を購入するよりも、他の故障部品内の部材を再利用して安価に修理したい。

出所）事業者へのヒアリング調査より取りまとめ

(1) 風車単位のリユース

風車単位のリユースとしては、何らかの理由で設計寿命前・故障前に使用済となった風車を撤去し、他の場所に移設して風車ごと再利用する形態が想定される。この際の市場ニーズとしては、高価な新品風車を購入する資金能力がない個人や団体、中小企業などが、安価な中古風車を購入するケースが想定される。また、立地や資金調達等の制約から数機しか導入出来ず、スケールメリットが出ないために高価な新品風車では採算が合わない場合に、中古風車を購入するケースな

¹⁴ 本報告書では、一度使用された製品を「中古品（部品）」、中古品のうち修繕・メンテナンスを施してリユース可能な状態にしたものを「リビルド品（部品）」と定義する。

¹⁵ 本報告書では、部品：増速機や発電機等、複数の部材により構成される機器と定義する。

¹⁶ 本報告書資料では、部材：部品を構成するパーツ（軸受、歯車、ブレーキ、シリンダー等）と定義する。

どが考えられる。

(2) 部品・部材単位のリユース

部品（増速機や発電機等、複数の部材により構成される機器）単位のリユースとしては、何らかの理由で、設計寿命前・故障前に使用済となった付加価値の高い部品（増速機、発電機等）を、他の風車で再利用する形態が想定される。この際の市場ニーズとしては、事業期間（一般に20年間）を数年だけ残して、高額な部品が故障した場合に、新品の購入では採算が取れないため、安価な中古部品の購入を希望するケースが挙げられる。また、部品によっては、新品を調達するために2~3ヶ月を要する場合があります、事業収益に大きな損失を与えることから、すぐに調達できる中古部品の購入を希望するケースが挙げられる。また、部品メーカーの生産中止等により、新品の調達が不可能な場合は、中古品を調達せざるを得ず、保証契約期間内であればメーカー、それ以外は事業者の責任のもとで、中古品（リビルド品）が利用されている。

風車の主要構成部品としては、タワー、ナセル、ブレード、電機機器等が挙げられる。表3-2に風車の主要構成部品と中古品利用のニーズ・現状について示す。風車を構成する部品の中でも、最も中古品利用ニーズが高いのはナセル内部品であり、海外では増速機、発電機、電気機器（制御系機器、モーター、変圧器等）の中古品市場が形成されている。

部材単位のリユースとしては、何らかの理由で使用済となった部品を構成する、軸受、歯車、ブレーキ、シリンダー等の部材を、他の部品の修理時に利用する形態が想定される。

表 3-2 風車の主要構成部品と中古品利用のニーズ・現状

部品・部材		中古品利用のニーズ・現状
ナセル	増速機	高価かつ風車の設計寿命（約20年）の中で2~3回修理が必要となる可能性があること、新品の調達に数ヶ月要する場合がありますこと等から、安価で短期間に調達できれば、中古品の利用ニーズが高い。海外では最大の中古部品市場を形成。
	発電機	高価であり、新品の調達に数ヶ月要する場合がありますこと等から、安価で短期間に調達できれば、中古品の利用ニーズが高い。
	電機機器（制御系機器、モーター、変圧器等）	比較的成本が高く、修理・修復が必要となる電機機器の中古品利用ニーズが高い。
	部材（軸受、歯車、ブレーキ、シリンダー等）	モーターのブレーキや、油圧装置のシリンダーなど、特に小型部品内の部材について、中古品利用のニーズ・事例がある。
	その他部品	中古品の発生時期と需要側のニーズが合致すれば、基本的にはどの部品であっても、中古品利用のニーズは存在。
ブレード		台風や落雷等により最も損傷を受けやすく、調達に時間を要すること等から、中古品利用の事例がある。
タワー		輸送コストがかかることから現地調達にメリットがあり、遠方から中古品を取り寄せるより、近くで新品を購入する方が安価である可能性が高い。

出所）事業者へのヒアリング調査より取りまとめ

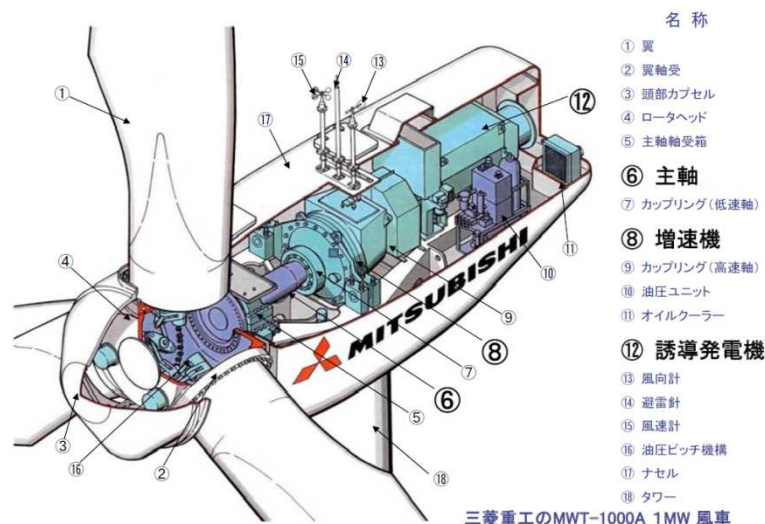


図 3-1 ナセルの部品構成

出所)三菱重工業(株)『風力発電における永久磁石利用の動向』(2011, 第6回産総研レアメタルシンポジウム資料)

1) 増速機・発電機

増速機は、新品で2,000~3,000万円¹⁷と高額であり、機構が複雑なため故障しやすく、風車の設計寿命(約20年)の中で2~3回修理が必要となる可能性があること、新品の調達に数ヶ月要する場合があること等から、最も中古品の利用ニーズが高い部品となっている。海外では最大の中古部品市場を形成しており、増速機の中古販売・修理の専門業者が存在している。海外からの輸送コストを加味しても、新品に対する中古品のコストメリットが出る場合があり、特に新品の調達期間が数ヶ月必要となる場合には¹⁸、短期間で調達できる中古の増速機の付加価値は高くなる。なお増速機は、遊星ギアやその周辺部品が壊れている場合、中古品としての価値はほとんどなくなる可能性があり、メンテナンス・修繕の実施状況により、中古品としての利用可否や価値が大きく変わってくる。

発電機は、増速機と比較すると故障頻度は低いが、高価であり、新品の調達に数ヶ月要する場合があることから、増速機と同様に中古品の利用ニーズが高い部品の一つである。

2) 電気機器

電気機器については、比較的成本が高く、一定頻度で修理が必要となる電機部品・ユニットの中古品利用ニーズが高い。ヨー制御機器、ピッチ制御機器等の制御系機器が代表例で、新品は数百万の投資となることから、安価な中古品を購入する事例がある。また、高価な大型電機部品に限らず、例えば高級風況計測器のように、新品で購入すると50万円を超える小さい電機部品についても、中古品のニーズがあり、市場で取引されている。

¹⁷ 2~3MW 風車の場合。事業者へのヒアリング調査より。

¹⁸ 例えば日本に設置されている海外製風車の場合、保証契約上、メーカー担当者による故障原因の調査・特定をした上で新品部品・部材を取り寄せることから、新品部品・部材の取り寄せに2か月以上を要する事例も存在する。

3) その他ナセル内部品

その他のナセル内中古部品については、モーターのブレーキや、油圧装置のシリンダーなどについて、中古利用のニーズ・事例が確認されている。

(3) ブレード

ブレードは、台風や落雷等により最も損傷を受けやすく、調達に時間を要することや運搬コストがかかることから、安価に調達できる場合、中古品利用のメリットがある。海外では、リパワリングの際に、撤去した風車のブレードが近隣の風車に再利用されている事例がある。また、国内においても、新品のブレードを購入したかったものの、同型のブレードをメーカーが生産しておらず、中古品を手配して対応した事例が確認されている¹⁹。

(4) タワー

タワーは輸送コストがかかることから現地調達にメリットがあり、遠方から中古品を取り寄せるより、近くで新品を購入する方が安価である可能性が高い。

なお、日本においては、旧建築基準法のもとで設置されたタワーは、新建築基準法のもとでは移設することが出来ない。これは旧建築基準法のもとで建設された風車は IEC 規格に適合しているが、改正建築基準法では JIS 規格への適合が求められており、国際認証を取得した風車であっても JIS 規格に適合していなければ、タワー・基礎の移設は認可されないためである。

¹⁹ 事業者へのヒアリング調査より。

3.1.2 海外のリユース動向

欧州や米国では、中古風車および中古部品の市場が形成されている²⁰。

(1) 中古風車のリユース品市場の概況

欧米では、寿命前の中小型風車（数百 kW）が大型風車（2～3MW）に一斉にリプレースされた際に、大量の中古風車が発生し、中古市場が形成された。欧州ではデンマークやドイツなどが中古風車を多く輸出しており、仲介業者を通して安く風車を購入したい事業者や個人に販売されている。中古風車の販売先としては、欧米に限らず、ベトナム、中南米、東欧（ルーマニア、ブルガリア、ポーランド等）、トルコ等が挙げられ、中古風車の国際市場が存在している。

寿命前の中小型機が大型機にリプレースされた要因として、風車の技術開発に伴う、風車サイズの急激な大型化が挙げられる。図 3-2 に示す通り、風車のサイズは 1990 年代後半から急激に大型化が進んでいる。ここ 20 年で最新機種種の発電容量は 7MW、現在設置されている陸上風車の平均サイズは約 2MW まで大型化しており、風車 1 本あたりの年間発電量が増加している²¹。一般に風車の設計寿命は 20 年であるが、寿命前であっても中小型風車を所有するよりは、大型風車にリプレースした方が事業採算性がよい状況となったことが、寿命前の中古型風車が大量に市場に出回る大きな要因となった。

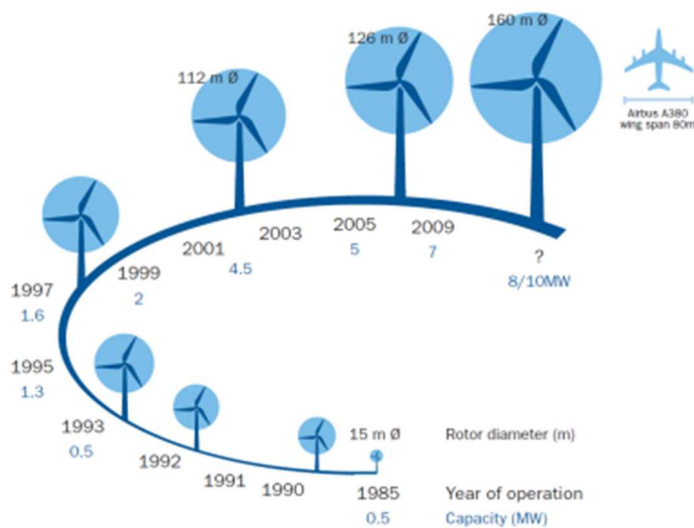


図 3-2 世界の風車の大型化の推移

出所) “Wind Energy Factsheets 2010” (2011, EWEA)

中古風車は、数百 kW クラスのものが主流であるが、近年では 1MW 以上の大型風車も中古市場に出回り始めている。

中古風車の取扱い業者は、専門販売業者、およびサービス会社の中古販売部門・子会社の 2 種類が主流となっている。中古風車の専門販売業者としては、オランダの Windbrokers²²が大手に挙

²⁰ 本節は、主に国内外事業者へのヒアリング調査結果により取りまとめている。

²¹ 風の持つ運動エネルギーは風を受ける面積に比例し、風速の 3 乗に比例して増大する性質を持っており、理論的には風速が 2 倍になると風力エネルギーは 8 倍になる。従って、より多くの発電量を得るためには、風の強い場所に設置すること、大きい翼で効率よく風を受けることが重要となる。

²² Windbrokers 社ウェブページ (<http://www.windbrokers.com/>)

げられる。Windbrokers は自社ウェブページにて、中古品のリストや、直近の販売実績を公開している（図 3-3）。販売方法としては、管理コストに見合わないため在庫は抱えない場合が多く、先物取引となるのが一般的である。中古風車の入手時期・納入スケジュールも契約内容に含まれている。

Vestas V52 - 850

READY FOR SHIPMENT!

- Inspected by Germanischer Lloyd before dismantling
- dismantled in July 2013
- stored at Wind Turbine Trade Centre (WTTTC) Harlingen port, NL
- tower is mainly new, stored in Galicia, Spain.
- 24 months insured product warranty.

Specification	
Type:	Vestas V52 - 850
Quantity:	1 unit
Generator capacity:	850 kW
Rotor diameter:	52 m
Swept area:	2.124 m ²
Power control:	Pitch control
Hub height:	65 m
Voltage / grid frequency:	690 Volt / 50 Hz
Initial commissioning :	2004

→ REQUEST OFFER

図 3-3 中古風車の販売事例（蘭 Windbrokers 社）

出所）Windbrokers ウェブページ

中古風車の販売価格は、メンテナンス状況、保証の有無により異なる。Windbrokers 社のように、保険会社を活用して1～2年間の保証をつけている事業者も存在するが、メンテナンスせずに、保証無しで販売されている事例も多い。メンテナンスサービス会社の中古販売部門・子会社は、メンテナンスをした後に販売している事例が多いと考えられる。

(2) 中古部品・部材のリユース品市場の概況

欧米は風車市場が大きく、かつプラントあたりの基数が多いことから、同じ地域に同一機種が大量に存在しており、互換性のある部品が一定地域に一定数量で回るなど、中古部品市場が成立しやすい条件が揃っている。

機械系部品では、風車の設計寿命約 20 年の中で、2～3 回修理が必要になるとされている増速機が最大の市場となっている。一般的に、増速機は1年の保証付きで販売されている。また、3.1.1 に整理したニーズに基づき、発電機、電気機器についても、中古品が取引きされている。ナセルごと中古品として販売されることもある（図 3-4）。

なお、今回の調査では、部材単位の中古市場の状況については、具体的情報は得られなかった。



(Nordex 1MW 機ナセル)



(Vestas 1.65MW 機制御装置)



(Micon 750kW 機ブレード)



(Micon 2MW 機タワー)

図 3-4 中古部品の販売事例

出所) Green-Ener-Tech Denmark ウェブページ

中古部品を取扱っている業者は、メーカー系、独立修理サービス会社、又はメンテナンスサービス会社の増速機修理部門・子会社などが挙げられる。増速機とブレードについては、専門の修理サービス業者も存在している(表 3-3)。

欧州には風車のメンテナンスを主要業務とするメンテナンスサービス会社が数十社存在しており、同業者間でアライアンスを組んでいる。欧州では、GE や Vestas 等の風車メーカーのOB が、風車のメンテナンスサービス会社のエンジニアとして働いており、得意なメーカー・機種に合わせて各社で人員を融通し、顧客のニーズに合わせたメンテナンス事業を展開するとともに、中古部品利用のノウハウを蓄積している。

表 3-3 中古風車ビジネスの業種

風車・部品種類	業種
中古風車	<ul style="list-style-type: none"> ・ 専門再販業者 ・ メンテナンスサービス会社の中古販売部門・子会社
増速機	<ul style="list-style-type: none"> ・ メーカー系 ・ 独立修理サービス会社 ・ メンテナンスサービス会社のギアボックス修理部門・子会社
その他電気機械・機器	<ul style="list-style-type: none"> ・ メーカー系 ・ メンテナンスサービス会社の修理部門・子会社
ブレード	<ul style="list-style-type: none"> ・ メーカー系 ・ 独立修理サービス会社 ・ メンテナンスサービス会社のブレード修理部門・子会社

出所) 事業者へのヒアリング調査より取りまとめ

3.1.3 国内のリユース動向

(1) 中古風車・部品のリユース市場の概況

我が国においても、過去に欧州の中古風車を輸入していた事業者が存在していたが、現在は中古風車の流通に係る事業は確認されていない。国内中古市場が形成されない要因としては、我が国の風車市場は欧米と比較して小さく、導入が本格化したのは2000年代以降であることから、市場を形成するに十分な量の中古風車および中古部品が存在しないことが挙げられる。

また、プラントあたりの設置数が少ないため、一定地域内に同一機種 of 同一部品が存在しないことも、中古市場が形成されにくい要因となっている。このような状況から、我が国においては、欧米のような風車専用のメンテナンス事業者は極めて少ない状況にある。

日本の大手発電事業者は自社でメンテナンス体制を整えており、メンテナンス・修繕用に大型部品の予備品を保有し、故障時には予備品に取り換え、故障した部品は修繕して再度別の風車に利用している²³。増速機や発電機などの主要部品は、メンテナンス・修繕を繰り返し、利用出来なくなるまで使用するのが通常であり、中古部品として市場に出回る例は少ない。

中小の発電事業者や、本業とは別に風車を所有する事業者・個人は、メーカーにメンテナンスも含めて発注している事例が多いと考えられる。メーカーがメンテナンスする場合は、品質保証の観点から、故障部品は新品に取り換える場合が多いと推察される。

(2) 国内のリユース実態に係るアンケート調査結果

前節のリユースに係る基礎情報を踏まえ、国内の風力発電関連事業者を対象に、風車のリユース・リサイクル・適正処理に係るアンケート調査を実施した²⁴。

1) 風車または部品のリユース実績

「風車または部品のリユース品、リビルド品を利用または利用を検討した実績」の有無について尋ねた結果を図3-5に示す。「利用したことがある」と回答した事業者は17件(21.0%)、「検討したことがある」と回答した事業者は6件(7.4%)、「利用・検討したことがない」と回答した事業者は58件(71.6%)であった。現状では、リユース品の利用は事業者にとって一般的ではないと考えられる。

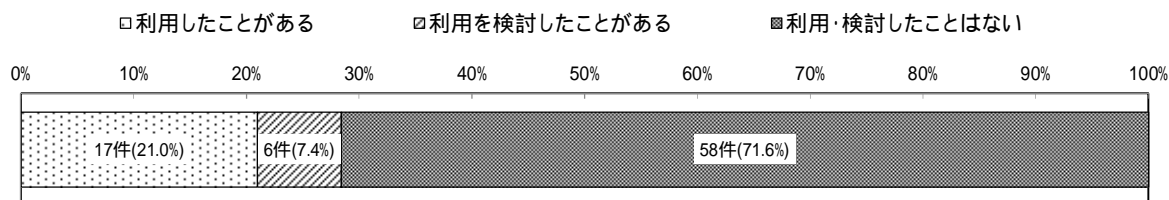


図 3-5 風車または部品のリユース品、リビルド品利用実績の有無 (回答数 81 件)

²³ 事業者へのヒアリング調査より。

²⁴ JWPA 会員企業および NEDO (独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) の公開データ「日本における風力発電設備・導入実績」記載の事業者より 121 事業者にアンケート票を送付し、風車および部品の廃棄・リユースの実績・予定につきて調査した。回収件数は 83 件 (68.6%) であった。アンケート調査票・結果の詳細は参考資料を参照のこと。

上記のうち、「利用したことがある」または「利用を検討したことがある」と回答した事業者 23 件に対して、その利用または利用を検討したリユース品、リビルド品の種類を尋ねた結果を図 3-6 に示す。

部品として増速機 9 件 (39.1%)、モーター 9 件 (39.1%)、発電機 7 件 (30.4%)、油圧装置 6 件 (26.1%) などが挙げられた。また、風車全体も 2 件 (8.7%) があった。「その他」1 件はピッチコンバータであった。

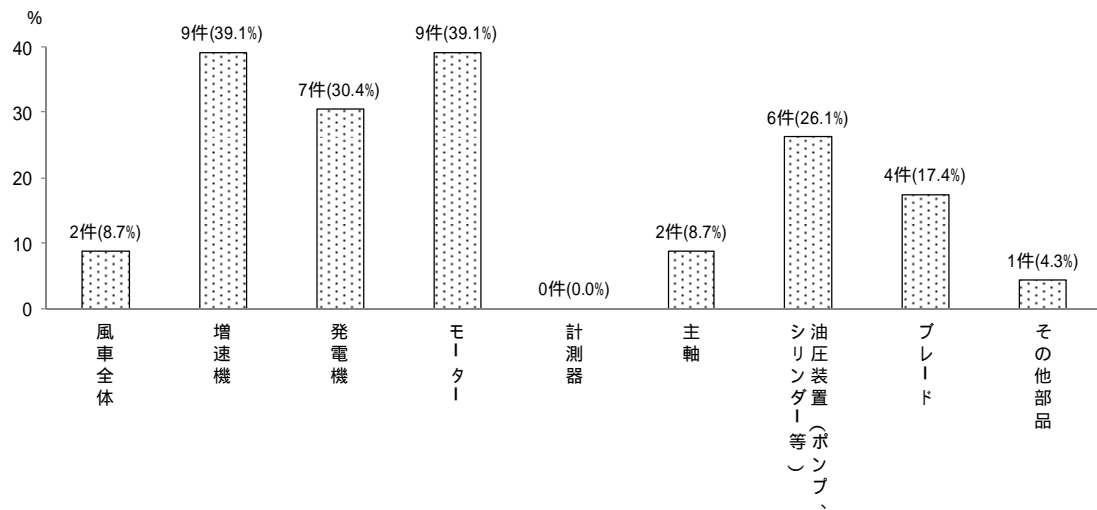


図 3-6 利用した、または利用を検討したことのあるリユース品・リビルド品の種類 (回答数 23 件)

ヒアリング結果を踏まえると、増速機や発電機などの大型の部品のリユースは、故障したものをオーバーホールしたリビルド品の使用が一般的と考えられる。また、モーターや油圧装置等の中型部品については、過去に取り外したものを修理してストックし、新品を調達する間に一時的に使用する、または部品を構成する部材 (歯車等) 単位で使用する、といった事例が多いと考えられる。

また、リユース品は基本的に自社の風車・部品を自社 (あるいは子会社) でメンテナンスする際に用いられており、顧客に対してリユース品を使用する、あるいは利用を推奨することはないとの回答が多かった。基本的には自社内で発生した故障品を修理しながら、他の風車で再利用する形態が多いと想定される。

2) リユース品の使用理由

風車または部品のリユース品・リビルド品を利用または利用を検討した理由について、複数回答方式で尋ねた。風車全体と部品を合わせた結果を図 3-7 に示す。「安価である等、コスト面で魅力があったから」26件(68%) 続いて「調達期間が新品より短いから」22件(58%)、「製造中止により同じ型番の新品が入手できないから」8件(21%)が理由として多く挙げられており、事業者にとってコスト面や調達期間面でのメリットがリユース品利用の重要な動機となっていることが分かる。また、製造中止などのメーカー側の理由によりやむを得ず中古品を調達している状況も確認された。

風車全体と各部品の結果を図 3-8 に示す。風車全体については2件の回答があり、いずれも「製造中止により、同じ型番の新品が購入できないから」であった。部品単位では、増速機、発電機、モーター、油圧装置などで、「安価である等、コスト面で魅力があったから」と回答した事業者が多かった。また、増速機やモーターでは、「調達期間が新品より短かったから」と回答した事業者が多かった。

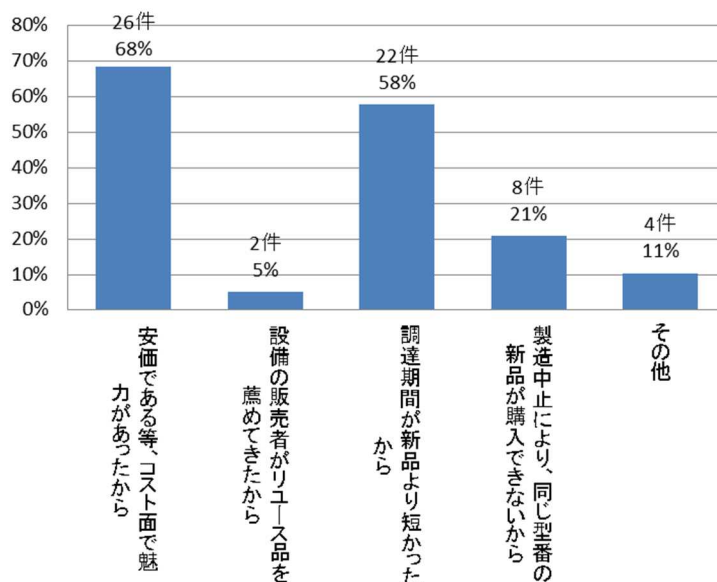


図 3-7 リユース品・リビルド品を利用した、または利用を検討したことのある理由
(風車・部品合計)

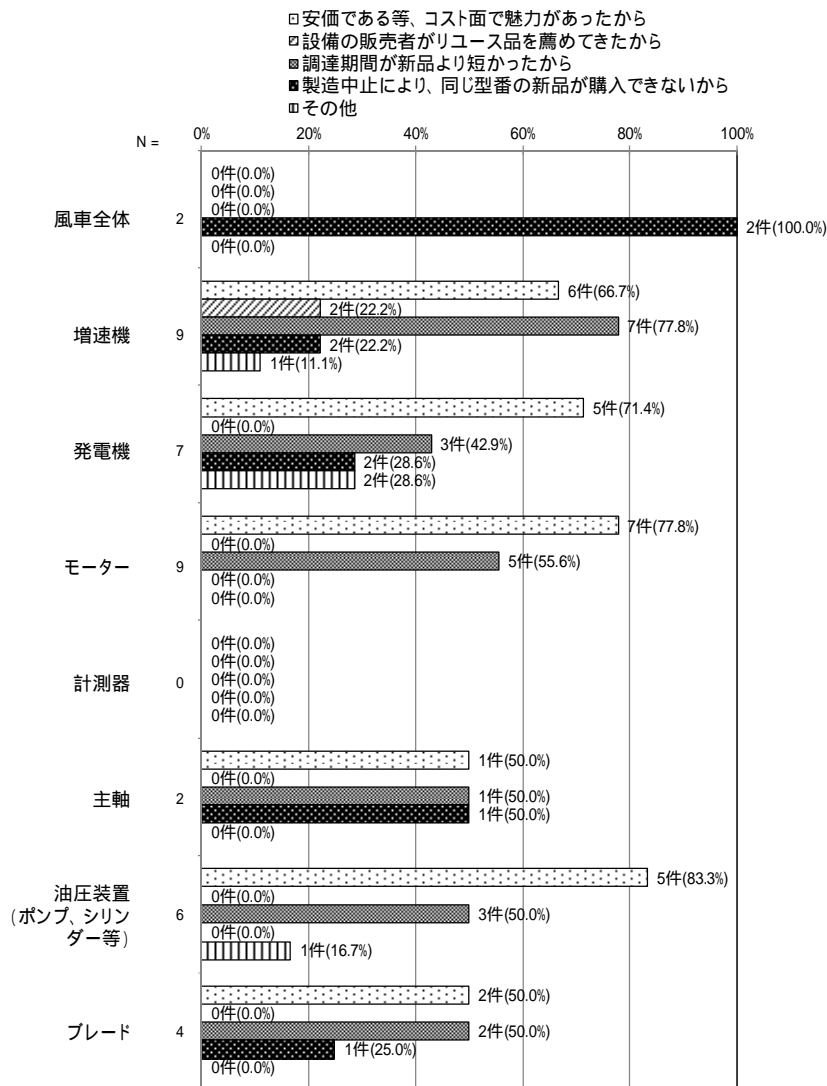


図 3-8 リユース品・リビルド品を利用した、または利用を検討したことのある理由

3) リユース品の利用意向

アンケート調査において、今後の中古品（リユース品・リビルド品）の利用希望の有無を尋ねた結果、「利用したい」と回答した事業者が 33 件（39.8%）、「利用したくない」と回答した事業者が 50 件（60.2%）であり、リユース品の利用ニーズが一定程度存在していることが分かった。（図 3-9）

ヒアリング調査においても、安く短期間で入手可能な中古部品があれば、利用を希望するとの回答を得ている。また、風車の設計寿命を踏まえると、今後数年の間に 1990 年代初期に設置された数百 kW クラスの風車の建替え・廃棄の時期を迎える可能性があり、我が国においても中古風車・部品のリユース事例が増加する可能性がある。

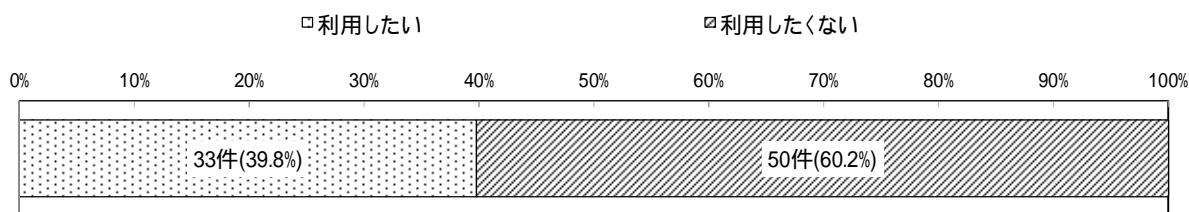


図 3-9 今後の中古品（リユース品・リビルド品）の利用希望の有無（回答数 83 件）

中古品（リユース品・リビルド品）を利用したくないと回答した事業者に対し、複数回答方式でその理由を尋ねた結果を図 3-10 に示す。

特に「品質に不安があるから」が 32 件（78.0%）、「製品保証がないから」が 12 件（29.3%）と多く、品質や品質保証面を不安視する意見が多い。また、「調達期間やコスト面で新品に対する魅力が小さいから」といった理由も 5 件（12.2%）挙げられた。

その他の理由としては、「風力発電を停止している為」「すでに風力発電所を廃止し、設備を利用する必要がないから」「風車の廃棄に合わせ、風力発電事業を行っていないため」など、風車の利用意思がないものや、「リユース品、リビルド品の利用メリットが不透明であるため」「過去に利用した事例もなく、不安だから」「部材や部品に金属疲労などによる損傷がどれほど蓄積されているか不明であるため」といった、リユース品・リビルド品に関する情報の不足が挙げられた。

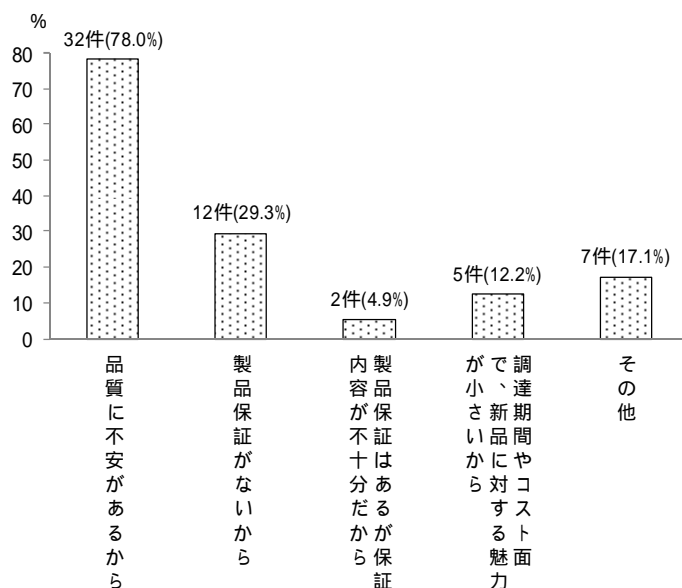


図 3-10 今後、リユース品・リビルド品を利用したくない理由

3.1.4 風車のリユースに係る課題

我が国の風車のリユースに係る課題として以下が挙げられる。

(1) 中古品の品質に係る課題

中古風車や中古部品は、トレーサビリティがなく使用履歴やメンテナンス・修繕履歴が分からないことに加え、外見では疲労の度合いは分からず、どの程度疲労が蓄積されているか評価出来ない状況にある。現在はメンテナンス事業者が独自の判断で品質保証を行っているが、中古品の品質管理・評価をどのように行うかが課題の一つに挙げられる。

欧州では、中古風車の多くは保証無し販売されているが、保険会社を活用して1~2年間の保証をつけている事業者も存在する。同様に、国内の事業者においても、保険会社と連携して1年間の保証をつけている事例が存在する。

(2) 技術者不足の課題

風車は同じ機種でも製造年などが違えば異なる部品を使用しているケースが多く、国内の風車(1,700~1,800台)だけでも、発電機と増速機の組み合わせで、約300種類くらいのパターンが存在する²⁵。また、発電機は種類が多く、周波数の違いもある。従って、中古部品を利用する際には、所有する風車に取り付け可能かどうかの目利き能力、正規品とは異なる部品を取り付ける技術を持った技術者が必要となる。

また、中古品の品質は、稼働時の運用状況に大きく左右されるため、日頃から適切なメンテナンス・修繕を実施することが非常に重要となる。一人の作業員がメンテナンスできる風車の数は、2MW風車の場合には年間3基程度であり、国内の風車(1,700~1,800基)を管理するためには700名ほどの専門的なメンテナンス要員が必要になるが、現状では300人程度にとどまるとされている²⁶。風車の健全な運用も含めて、メンテナンス要員の育成が重要となる。

(3) 建築基準法上の課題

現状我が国においては、旧建築基準法の元で設置されたタワーは、新建築基準法の元では移設することが出来ず、実質的にタワーのリユースが出来ない状況にある。これは旧建築基準法のもとで建設された風車はIEC規格に適合しているが、改正建築基準法では、「建築物の主要構造部等に使用する鋼材等について、その品質が国土交通大臣の指定する日本工業規格(JIS)等に適合するもの又は国土交通大臣の認定を受けたものでなければならない」とされており、国際認証を取得した風車であってもJIS規格に適合していなければ、タワー・基礎の移設は認可されないためである。現在、平成24年4月に閣議決定された「エネルギー分野における規制・制度改革に係る方針」のもと、「風力発電の導入促進に係る建築基準法の基準の見直し」として、建築基準法における評価基準の妥当性に関する検討が行われている。風車のリユースを促進するためには、適切な規制・基準の緩和が望まれる。

²⁵ 事業者へのヒアリング調査より。

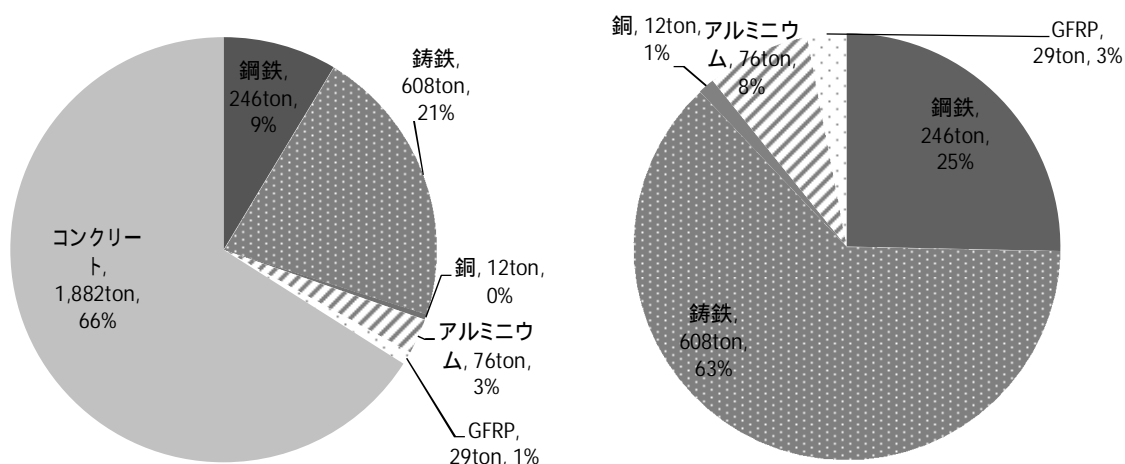
²⁶ 事業者へのヒアリング調査より。

3.2 風車の主要構成素材

3.2.1 風車の主要な構成素材

代表的な 2MW クラスの風車（ENERCON²⁷製 2.3MW 機）の主要な素材割合を図 3-11 に、風車の主要部位別の素材構成および重量を表 3-4 に示す。

風車全体としては、基礎に使用されるコンクリートが重量の 8 割を占めている。基礎を除いた風車本体の主な素材は鉄（約 88%）や銅（約 3%）、アルミニウム（約 0.4%）といった金属や、ガラス繊維強化プラスチック（以下、GFRP とする）（約 8%）であり、約 9 割が金属で構成されている。



ENERCON 社の 2.3MW 機を想定

図 3-11 風車の主要素材の割合

（左：基礎を含んだ設備全体における割合、右：コンクリート以外の素材における割合）
出所）“LCA of ENERCON Wind Energy Converter E-82 E2”（ENERCON）

表 3-4 風車の主要な素材および重量[単位：トン]

素材	合計重量	ブレード	ナセル	タワー	電子機器	基礎
鋼鉄	246	1	53	103	37	52
鋳鉄	608	-	73	-	535	-
銅	12	-	11	-	1	-
アルミニウム	76	75	1	-	-	-
GFRP	29	29	-	-	-	-
コンクリート	1,882	-	-	791	-	1,091
合計	2,853	105	138	894	573	1,143

ENERCON 社の 2.3MW 機を想定

出所）“LCA of ENERCON Wind Energy Converter E-82 E2”（ENERCON）

²⁷ ドイツを代表する風力発電機メーカー。ギアレス・同期発電機式の風車を販売。

3.2.2 ナセルの主要な構成素材

(1) ナセルの主要部品

ナセルには、増速機や発電機、主軸や主軸受等、発電に係る重要部品が格納されている（詳細は図 3-1 を参照）。

風車の発電方式は、増速機付き / 誘導発電機と、増速機なし（以下、ギアレス式） / 同期発電機式に大別され、メーカーにより、増速機の有無や、発電機の種類が異なっている。

(2) 大型風車（MW クラス）の構成素材

代表的な風車（Gamesa²⁸製 2MW 機、増速機付き）のナセルの主要素材の割合を図 3-12 に、ナセルの主要部品別の素材および重量を表 3-5 に示す。ナセル内部品の約 90% は鉄で構成されており、残りは銅、アルミニウム、FRP、潤滑油等で構成されている。

また、ギアレス式の風車では、永久磁石式同期発電機が使用されている場合がある。永久磁石には、レアメタル（ネオジウム、ジスプロシウム）が含有されており、ギアレス / 永久磁石式同期発電機を用いている 2MW の風車では、1.5～2 トンの永久磁石を使用し、うち約 30% がネオジウム、約 4% がジスプロシウムで構成されている²⁹。

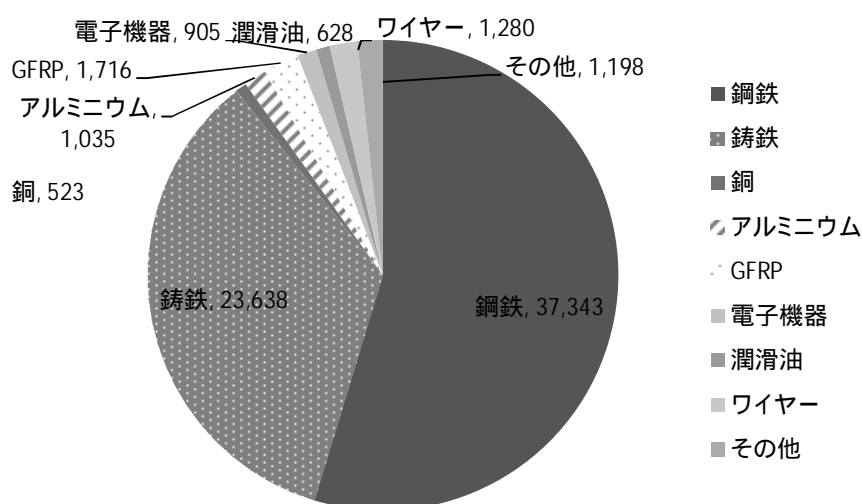


図 3-12 ナセルの主要な素材の割合[単位：kg]

GAMESA 社の 2.0MW 機を想定
 出所) “LIFE CYCLE ASSESSMENT OF 1KWh GENERATED BY A GAMESA ONSHORE WINDFARM G90 2.0 Mw”
 (2013, Gamesa)

²⁸ スペインを代表する風力発電機メーカー。増速機付き・誘導発電機式の風車を販売。

²⁹ 第 6 回産総研レアメタルシンポジウム「風力発電における永久磁石利用の動向」(2011 年 10 月 24 日/三菱重工業(株)発表資料)

表 3-5 大型風車 (MW クラス) のナセルの主要構成素材および重量

MATERIAL(Kg)	増速機 (GEARBOX)	発電機 (GENERATOR)	変圧器 (TRANSFORMER)	低速シャフト (SHAFT LOW SPEED)	高速シャフト (SHAFT HIGHT SPEED)	架台 (FRAME)	ヨーシステム (YAW SYSTEM)	電子機器 (ELECTRIC CABINETS AND CONVERTER)	ナセルカバー (NACELLE STRUCTURE)	クレーンシステ ム (CRANE SYSTEM)	油圧装置 (HIDRAULIC GROUP)	その他 (OTHER NACELLE)	TOTAL (kg)
低合金鋼 (Low alloy steel)	1,913.43	5,408.71	3,225.06	615.79	662.28	2,963.42	1,636.66	1,551.78	757.65	2,307.85	499.94	262.47	21,805.05
高合金鋼 (High alloy steel)	6,246.01	46.85	0.00	7,724.90	0.03	2.00	1,445.66	0.00	17.79	20.00	0.06	35.07	15,538.36
鋳鉄 (Casting)	8,008.22	123.10	0.00	3,134.60	126.26	10,899.90	1,229.40	0.00	0.00	116.80	0.00	0.00	23,638.28
銅 (Copper)	0.00	352.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	155.28	0.00	0.00	15.00	0.00	522.65
アルミニウム (Aluminium)	2.56	24.00	675.02	3.79	0.00	53.63	240.00	0.00	11.37	0.00	25.00	0.00	1,035.38
真ちゅう (Brass)	2.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.10	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	38.00
ポリマー (Polimer)	9.87	14.00	22.49	0.00	2.60	7.68	22.91	22.17	35.72	0.00	6.00	1.32	144.74
繊維ガラス (Fiberglass)	0.00	10.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.47
ガラス強化プラスチック (GRP, Glass Reinforced Plastic)	2.70	3.47	7.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,702.22	0.00	0.00	0.00	1,716.08
塗料 (painting)	37.70	35.48	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73.68
電子部品 (Components electric/electronic)	191.82	126.00	0.00	0.00	0.00	0.00	144.00	443.44	0.00	0.00	0.00	0.00	905.26
潤滑油 (Lubricant)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	627.77	627.77
ワイヤー (Wires)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.12	0.00	0.00	0.00	1,236.16	1,280.28
その他 (Other materials)	10.21	109.58	344.99	28.80	0.87	409.70	3.50	0.00	3.64	0.36	0.00	19.07	930.72
TOTAL (Kg)	16,425.26	6,254.02	4,275.26	11,507.88	792.04	14,336.83	4,757.23	2,216.79	2,528.54	2,445.01	546.00	2,181.86	68,266.72

GAMESA 社の 2.0MW 機を想定

出所) “LIFE CYCLE ASSESSMENT OF 1KWh GENERATED BY A GAMESA ONSHORE WINDFARM G90 2.0 Mw” (2013, Gamesa)

(3) 小型風車（100kW）の構成素材

過年度の調査³⁰で、解体試験・素材構成調査を行った小型風車（100kW、ギアレス/永久磁石式同期発電機式）の素材構成調査結果を以下に示す³¹。小型風車についても、大型風車と同様に、主要な構成素材は鉄であった（約97～99%の構成比率）。また、発電機には永久磁石が112.8kg（188gの磁石を600個使用）使用されていた。永久磁石の構成比は、鉄：65%、ネオジウム：20%、プラセオジウム：8.1%、ジスプロシウム：4.2%、コバルト：1.9%、ニオブ：0.2%であり、構成比を乗じると、ネオジウムが約22.6kg、ジスプロシウムが約4.8kg使用されていることとなる。

表 3-6 小型風車（100kW）のナセルの主要構成素材および重量

測定対象			重量（kg）	測定状況		
設備	部品	詳細部品		測定箇所	測定状態	素材構成
タワー			4,390	タワー本体（外側）	塗装あり ¹	鉄：97.0%、亜鉛：2.0% マンガン：1.0%
				タラップ	塗装なし	亜鉛：98.1%、鉛：1.2%
パワーコンディショナ			95	-	-	-
ハブ			1,510	ハブ本体（外側）	塗装あり ¹	鉄：99.7%
ナセルカバー				440	-	-
ナセル	永久磁石式発電機（PMG）	永久磁石	112.8		塗装なし 加熱による脱磁、粉砕後に測定	鉄：65% ネオジウム：20% プラセオジウム：8.1% ジスプロシウム：4.2% コバルト：1.9% ニオブ：0.2%
		固定子	1,635	-	-	-
		回転子	1,530 ²	-	-	-
	主軸		490	主軸本体	塗装なし	鉄：97.9%、クロム：1.1%
	主軸受		385	主軸受本体（外側）	塗装あり ¹	鉄：99.6%
	主軸ブレーキ装置（油圧/ディスク）		250	ディスク	塗装なし	鉄：97.9%
	架台		3,110	架台本体	塗装あり ¹	鉄：98.4%、マンガン：1.4%
	ピッチ制御装置（電動式/油圧式）		225	-	-	-
	油圧装置		120	-	-	-
	冷却装置（コンデンサ）		25	-	-	-
	ヨーモーター		35	ヨーモーター本体	塗装あり ¹	鉄：99.1%
	電力ケーブル・制御ケーブル		35	-	-	-
	各種計測装置、センサー類		60	-	-	-

1 測定は塗装をはがした上で実施。

2 永久磁石 112.8kg 含む。

³⁰ 環境省「平成25年度使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル促進調査委託業務 報告書」（平成25年3月）

³¹ 環境省の浮体式洋上風力発電実証事業で使用されていた100kW試験機（増速機なし（ギアレス）/永久磁石式同期発電機）を用い、解体試験・素材構成調査・含有量調査を実施した。

3.3 風車のリサイクル・適正処分に関する基礎情報

3.3.1 風車・部品の廃棄実績・予定

(1) 風車の廃棄実績

図 3-13 に、日本における撤去の基数[台]および総容量[kW]の推移を示す。

撤去の実績は 1980 年代から既に見られるが、これらは実証試験用であり、5 年経たずに撤去しているものが中心である。その後 1992～1998 年には撤去事例が確認されないが、2000 年代以降は、基数・総容量ともに増加傾向にある。

単基容量は年代により傾向の違いはなく、10kW 規模のものから 1,000kW 弱のものまで様々である。

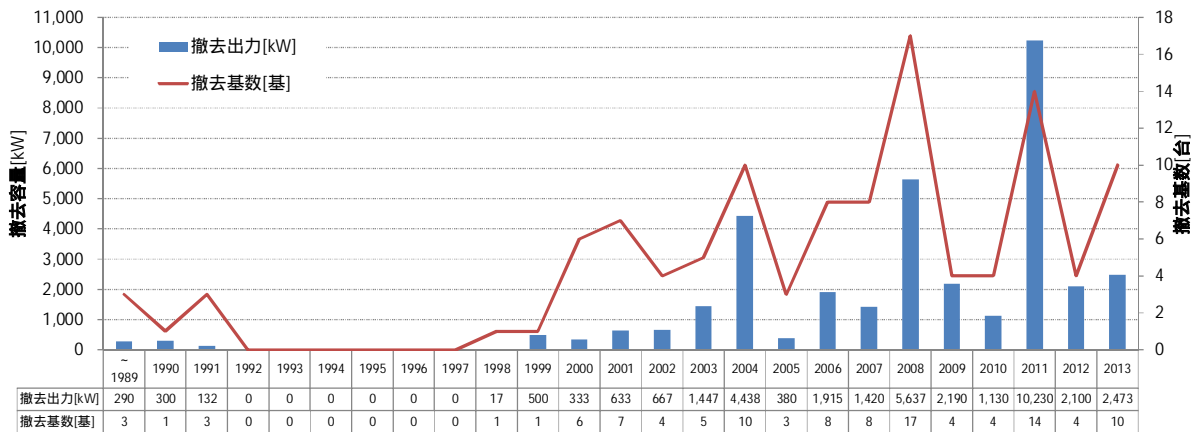


図 3-13 風車の撤去実績（基数・容量）

出所) NEDO (独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)「日本における風力発電設備・導入実績 (2014 年 3 月末現在)」

アンケート調査により風車の廃棄実績について尋ねた結果を図 3-14 に示す。「廃棄したことがある」と回答した事業者が 21 件 (25.3%)、「廃棄したことがない」と回答した事業者が 62 件 (74.7%) であった。

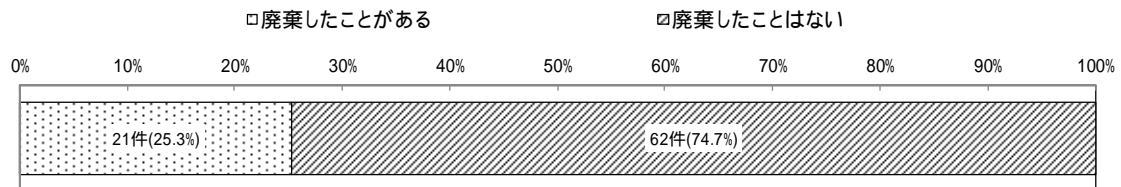


図 3-14 風車の廃棄実績の有無（回答数：83 件）

廃棄したことがある事業者に対し、廃棄理由を尋ねた結果を図 3-15 に示す。風車に起因するものとしては、「落雷、台風等の天災により故障したため」が最も多く 10 件（35.7%）であった。次いで「製品寿命を迎えるため（老朽化）」が 4 件（14.3%）、「設備の不具合により故障したため」が 3 件（10.7%）であった。老朽化による寿命を迎える前に撤去された風車の割合が比較的大きいと考えられる。

また、事業に起因する理由としては、「事業を終了するため」が 6 件（21.4%）、「実証試験の期間終了等により、風車を撤去しなくてはならなかったため」が 3 件（10.7%）、「事業計画の変更等により、既存の設備と置き換えたため」が 2 件（7.1%）であった。

「その他」1 件は「火災により焼損したため」であった。

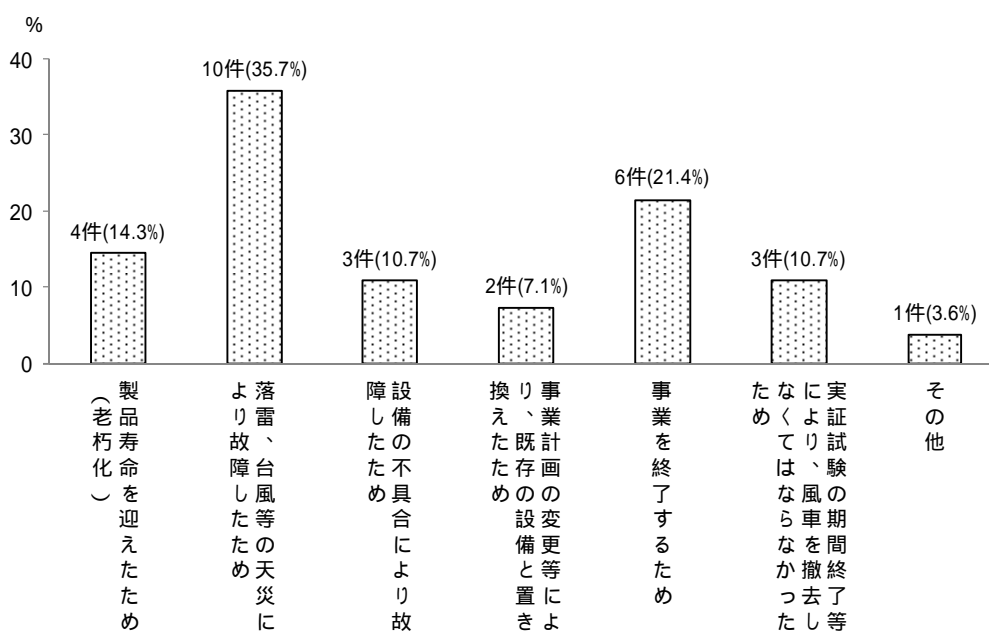


図 3-15 風車を廃棄した理由

(2) 部品の廃棄実績

アンケート調査により、メンテナンス等による部品の廃棄実績について尋ねた結果を図 3-16 に示す。「廃棄したことがある」と回答した事業者は 39 件（48.1%）、「廃棄したことがない」と回答した事業者は 42 件（51.9%）であり、半数近くの事業者が部品の廃棄実績を有している。

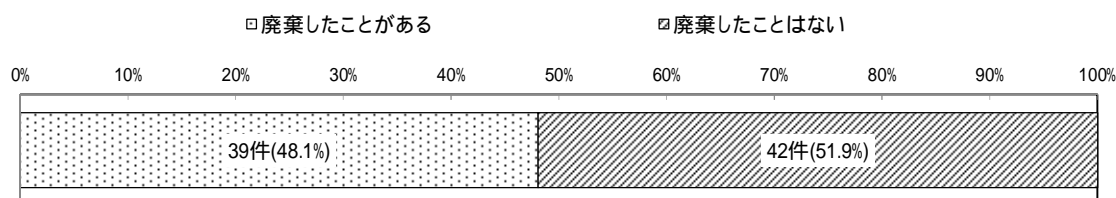


図 3-16 部品の廃棄実績の有無（回答数：81 件）

「部品を廃棄したことがある」と回答した事業者に対し、廃棄実績のある部品の種類を複数回答方式で尋ねた結果を図 3-17 に示す。一般的に事業期間中に故障が発生しやすいとされている増速機や誘導発電機、部品点数の多いモーター、落雷の影響を受けやすいブレードをはじめ、主要な部品については廃棄実績があることが確認された。

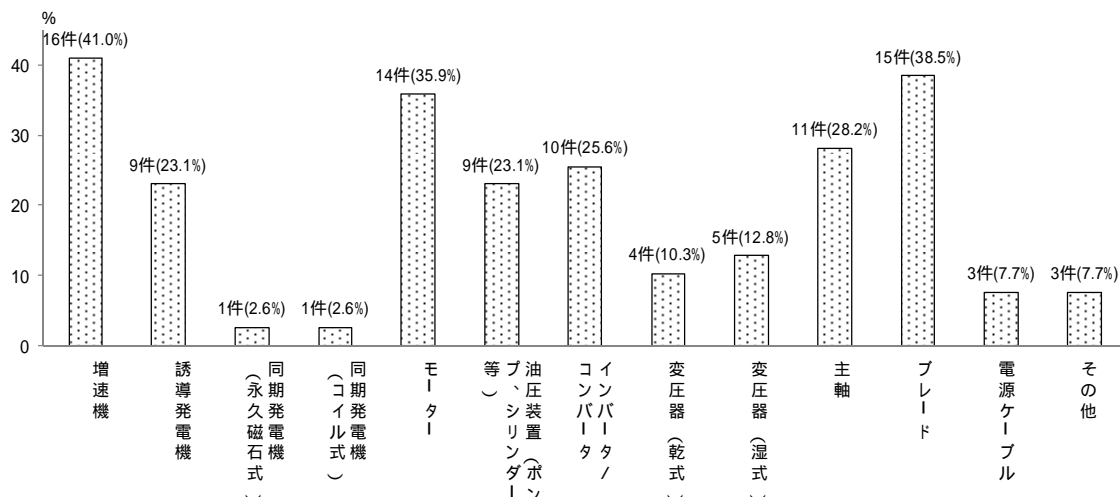


図 3-17 廃棄したことがある部品の種類 (回答数：39 件)

(3) 風車の設置期間・寿命

アンケートで廃棄が確認された風車 44 基のうち、41 基は 2007 年以降に廃棄されており、ここ 10 年以内のものがほとんどであった (他は 2004 年 2 基、1992 年 1 基)。

実証期間終了により撤去したものを除けば、設置期間は平均 11.8 年であった。設置から廃棄までの期間が 5 年以内のものは確認されず、21 年設置されたものも 1 件確認されている。

(4) 風車の廃棄予定

アンケート調査により、今後 5 年以内の風車の廃棄予定の有無について尋ねた結果を図 3-18 に示す。「廃棄予定あり」と回答した事業者は 11 件 (うち判明分 18 基) であった。

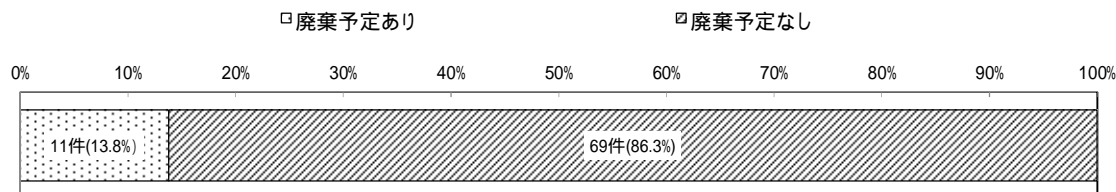


図 3-18 今後 5 年以内の風車の廃棄予定の有無 (回答数：80 件)

廃棄予定の理由としては、廃棄予定ありの事業者のうち約半数が「風車が故障したため」5 件 (8 基; 計 2,345kW) と回答しており、製品寿命前に故障する事例が多いと考えられる。その他の理由としては、「製品寿命を迎えるため」2 件 (3 基; 計 1,460kW)、「事業計画の変更等により、既設の風車を新しい機種に置き換えるため」2 件 (5 基; うち 1 基は 600kW、

ほか4基容量不明)、「事業を終了するため」1件(2基;計800kW)が挙げられた。

廃棄予定のある事業者にヒアリングを実施したところ、今後5年以内に事業期間を終了するため廃棄予定であるとのことであった。日本においては、2000年以降に風車の導入が進んでおり、事業期間が20年であることを考えると、2020年以降、事業期間終了による廃棄事例が増加することが予想される。

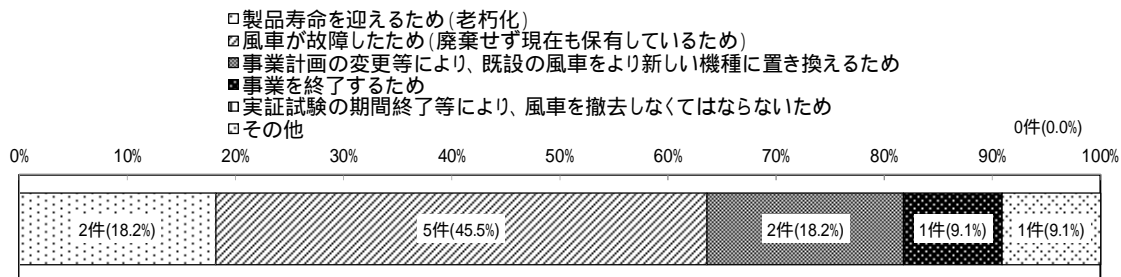


図 3-19 今後の廃棄予定ありの理由

3.3.2 風車の解体手順・留意事項

(1) 解体手順

風車の解体は、基本的には設置手順の逆順となり、ローター（ハブ・ブレード）、ナセル、タワーの順に解体作業が実施される（図 3-20）。ナセル内部部品（増速機、発電機、その他電気機器）は、ナセルごとタワー上から下ろした後に、部品別に解体するのが一般的と考えられる。

風車を廃棄する場合は、設置時ほど慎重な作業は必要ないため、工事の手順や方法は簡易となり、解体にかかる時間やコストは設置時より小さくなる。

一方、風車および部品のリユースを想定する場合は、解体作業は丁寧に、各部品を損傷することなく実施する必要があるため、設置時と同様の時間・コストがかかる想定される。



（ローターの取外し）



（ローター・ナセルの解体）



（ナセルの取外し）



（タワーの解体・運搬）

図 3-20 風車の解体事例

出所) Green-Ener-Tech Denmark ウェブページ

風車を設置したまま、部品を単体で解体する場合は、ナセルカバーの上部(ナセルルーフ)を取り外した後に、クレーンを用いて各部品を取り外す手順が取られる(図 3-21、図 3-22)。発電機、および電気機器(制御系機器、モーター、変圧器等)については、単体で比較的容易に取り外せる場合が多い。増速機については、機種によってはローターごと取り外す必要がある。ブレードについても、機種により、ブレード単体で取り外せるものと、ローターごと取り外す必要があるものの両方があり、それぞれに工事手順や費用が大きく異なる。

ベスタス製風車など、機種によっては、大型部品をタワーの中からクレーンで下ろすことができる設計の風車もあるが、現在は大型クレーンを用いた作業が主流となっている。

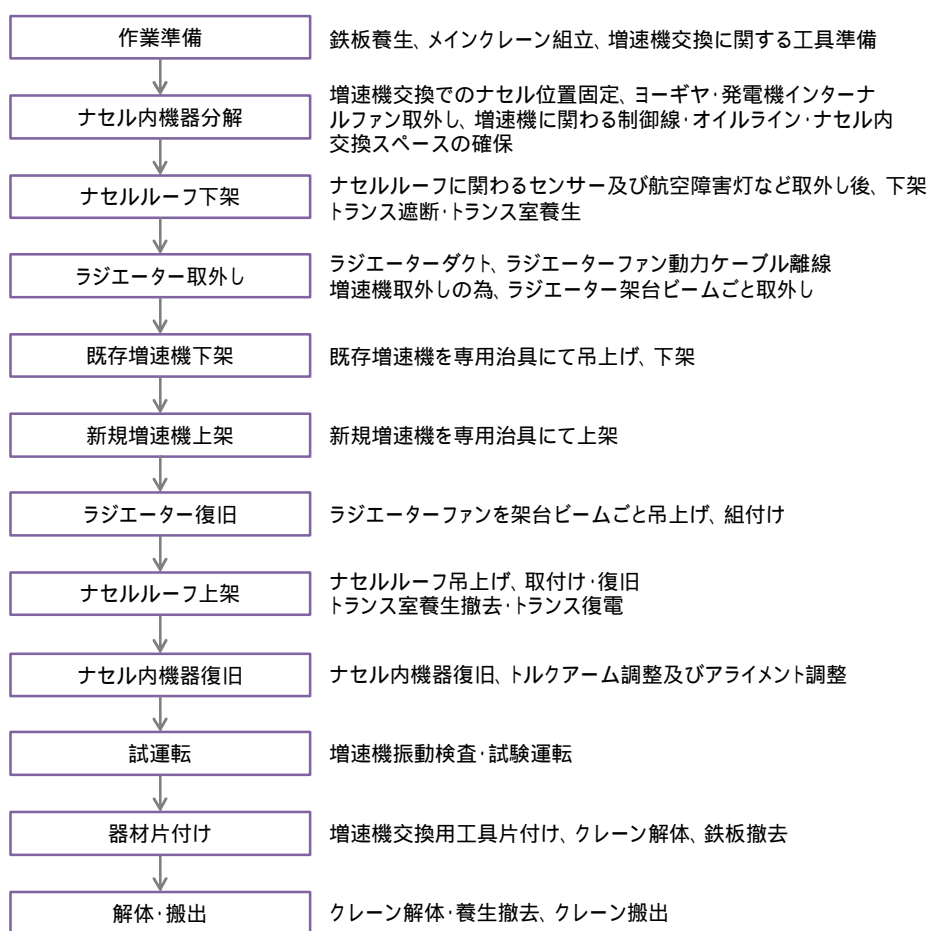


図 3-21 増速機交換工事の手順事例

出所) 事業者提供資料



(ナセルルーフの取外し)



(増速機、発電機の取外し・搬入)

図 3-22 ナセル内部品の解体事例

出所) 事業者提供資料

ナセル内部品の解体手順や、必要となるクレーン・重機の能力は、増速機の有無や発電機方式、機種の種類により大きく異なる。

増速機付き・誘導発電機方式の場合、増速機で回転数を上げることから発電機サイズは小さくなり、ナセルサイズ、重量ともに小さくなる。一方、ギアレス・同期発電機方式の場合、発電機の極数を増やす必要があることから、発電機の直径が大きくなり、ナセルサイズ、重量ともに大きくなる。風車の形式に合わせた適切な解体計画、クレーン・重機の手配が重要となる。



図 3-23 100kW 風車のナセル内構造の比較

(左：増速機付き / 誘導発電機、右：ギアレス / 永久磁石式発電機)

出所) 左：TEMBRA 社ウェブページ、右：三菱総合研究所撮影

(2) 解体時の留意事項

1) 使用工具・設備

特にリユースを想定した場合は、設置時と同様に各部品を損傷することなく丁寧に扱う必要があることから、機種ごとの専用治具が必要となる。これらはメーカーが独自に保有している場合が多く、調達に時間・費用を要することから、事業者が解体を行う際の課題となっている。また、風車の各部品（ブレード、ハブ等）を吊り上げる際の、バランスを保つための適切な吊り位置の確認も必要となるが、メーカーのみが把握している場合が多く、治具の手配と合わせて検討が必要となる。

廃棄を想定する場合には、安全に吊り上げることが出来れば汎用品を利用可能であり、必ずしも専用の治具は必要ない。

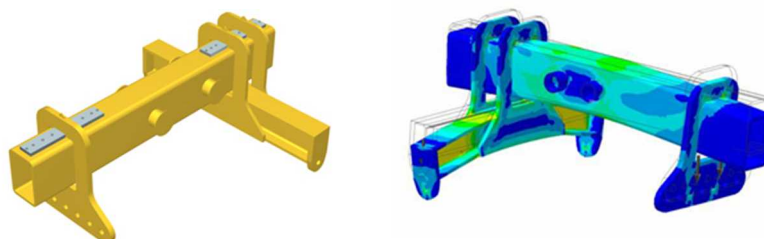


図 3-24 風車の組立て・吊り上げ用治具の例

出所) TEMBRA 社ウェブページ



図 3-25 専用治具を用いたローター・ブレードの吊り上げ作業の様子

出所) 事業者提供資料

2) 油漏れの防止

ナセル内部部品は、油圧装置や変圧器等に油が多く含まれているほか、軸受にはグリースが大量に使用されていることから、油漏れに注意する必要がある。また、軸受などグリースが多く含有されている部品についても、取扱いに注意が必要であり、油やグリースは、あらかじめ抜いてから解体作業を実施することが望ましい。

油・グリースが多く含まれる主要部品としては、以下が挙げられる。

- 油圧ユニット
- 主軸受
- 変圧器
- モーター
- ピッチ制御装置

3) 残留ガス等の確認

解体作業にあたっては、作業者の安全を確保し、事故の防止に十分注意する必要がある。

また、油圧ユニットのアクムレーターやピッチ制御装置など、窒素ガスが含まれる可能性のある部品については、破裂事故が起きないように、ガスの残留状況を確認し、事前にガスを放出した上で取り外す必要がある。

3.3.3 風車の撤去・リサイクル・処理フロー

アンケートおよびヒアリングにより、風車解体・撤去の委託先、引渡し先、引渡し形態(有償・無償等)について調査し、風車の撤去・リサイクル・処理フローについて整理した。

(1) 風車解体・撤去の委託先

アンケート調査により、風車の廃棄時に撤去・解体等を委託した業者について尋ねた結果を図 3-26 に示す。電気工事業者が最も多く 10 件(37.0%)であった。次いで土木・建築業者が 7 件(25.9%)、メンテナンス業者が 6 件(22.2%)であった。廃棄物処理業者という回答は 0 件であった。その他の回答には「運輸業」「建築業者と電気工事業者のジョイントベンチャー」が 1 件ずつ含まれた。

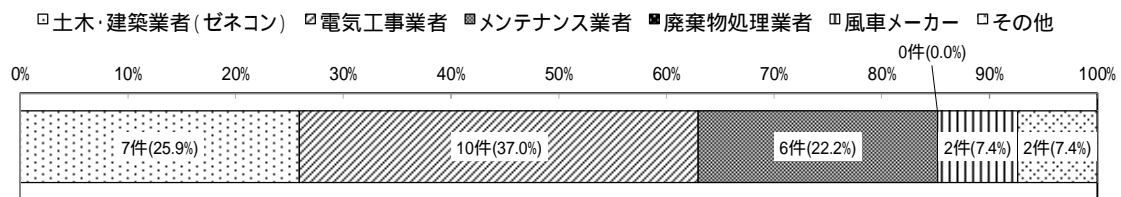


図 3-26 風車の廃棄時に、撤去・解体等を委託した業者

(2) 撤去した風車の引渡し方法・引渡し先

アンケート調査により、撤去した風車の引渡し方法について尋ねた結果を図 3-27 に示す。「風車全体を一括で引き渡した」と回答した事業者が 15 件(57.7%)、「風車をパーツ(タワー、ブレード、ナセル等)に分けて、別々の業者に引き渡した」と回答した事業者が 11 件(42.8%)であり、風車を一括で引き渡す事例が多かった。

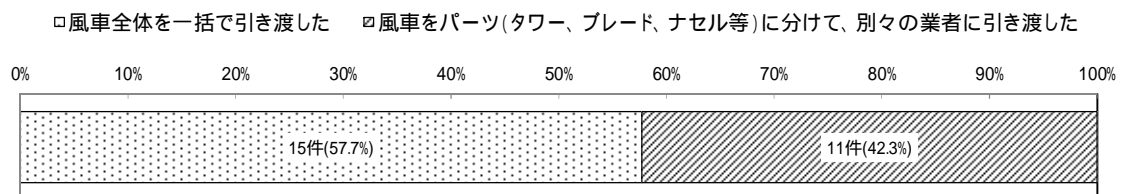


図 3-27 撤去・解体した風車の引き渡し方法(回答数: 26 件)

撤去風車の引渡し先について尋ねた結果を図 3-28 に示す。土木・建築業者(ゼネコン)が最も多く 5 件(31.3%)であった。風車全体を一括で引き渡す場合、解体・撤去を委託した事業者(ゼネコン、電気工事業者、メンテナンス業者等)に、リサイクル・処理(金属スクラップ業者や廃棄物中間・最終処理業者の手配等)を含めて委託する事例が多いと考えられる。

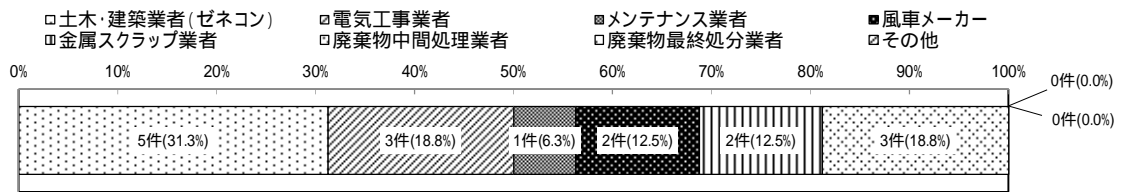


図 3-28 撤去・解体した風車の引渡し先

「風車をパーツ(タワー、ブレード、ナセル等)に分けて、別々の業者に引き渡した」と回答した事業者に対し、その部品ごとに引渡し先と引渡し形態を尋ねた結果を図 3-29 に示す。風車をパーツ(タワー、ブレード、ナセル)単位で引き渡す場合は、発電事業者自身が部品の構成素材に従って、金属スクラップ業者、または廃棄物中間・最終処理業者に直接引き渡している。いずれのパーツも風車メーカー、土木・建築会社(ゼネコン)への引渡しは0件であった。

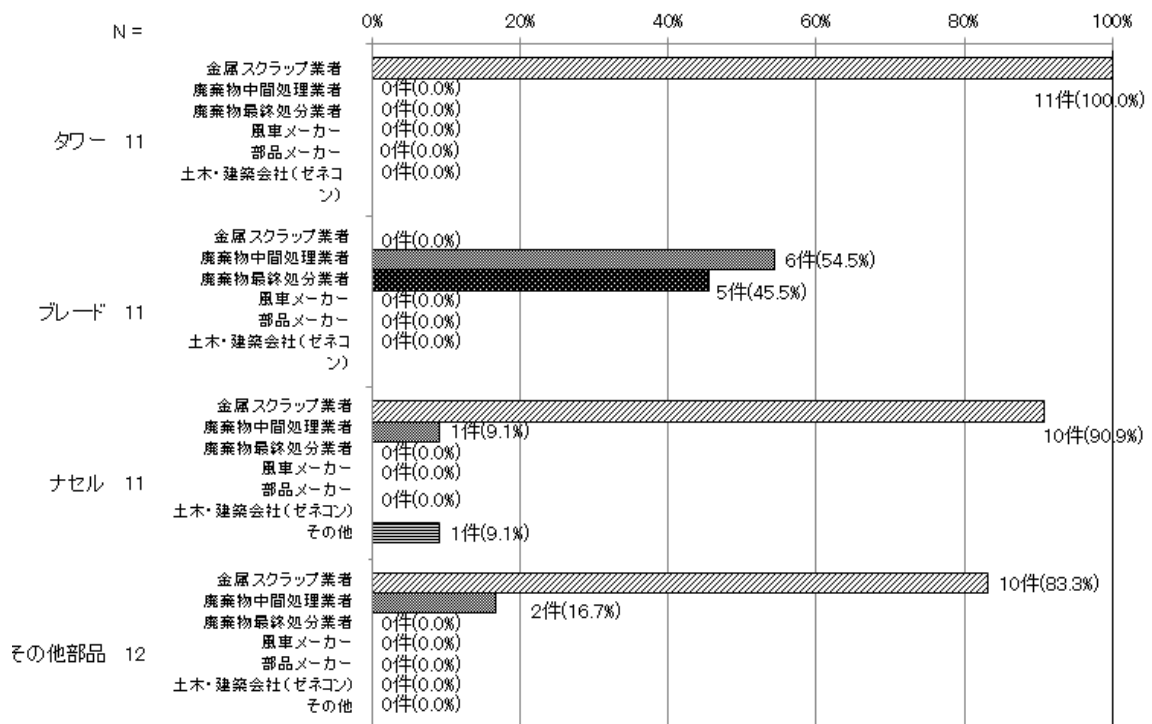


図 3-29 廃棄した部品の引渡し先

(3) 撤去した風車の引渡し形態

撤去した風車の引渡し形態について尋ねた結果を図 3-30 に示す。タワー、ナセルは1件を除き「売却した」のに対し、ブレードは「費用を支払い引き渡した」ものが多い。一般にブレードの素材はガラス強化繊維プラスチックが使用されているため、処理費用がかかったものと想定される。

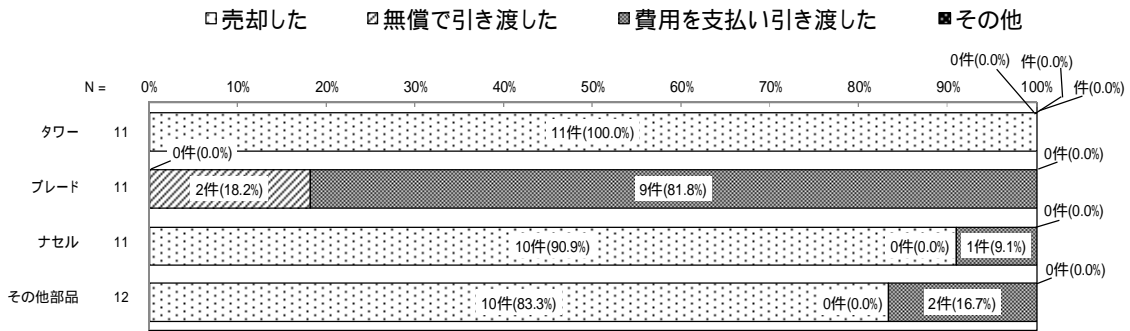


図 3-30 タワー、ブレード、ナセルの引渡し形態

(4) 風車の撤去・引渡しフロー

(1) ~ (3) の調査結果を踏まえた、風車の撤去・引渡しフローを図 3-31 に示す。現状の調査結果では、風車の撤去・解体から処理まで、土木・建築業者や電気工事業者等に一括で委託される事例が多い。また、解体後の処理については、解体現場で金属スクラップ業者および廃棄物処理業者に引き渡されている事例が多く確認された。排出主体は発電事業者であり、廃棄物処理法およびマニフェスト制度の元で適正に処理が行われているものと想定される。

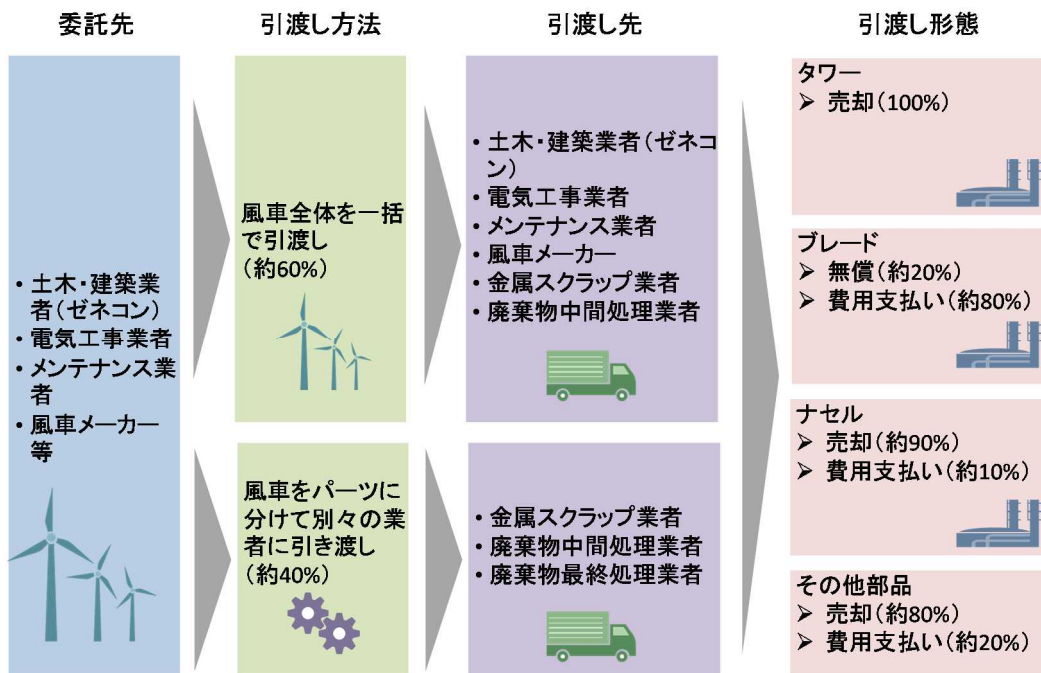


図 3-31 風車の撤去・引渡しフロー

(5) 風車のリサイクル・処理フロー

風車が解体された後に想定される、一般的なりサイクル・処理フローについて、過年度の調査³²でリサイクル事業者へのヒアリング調査等により整理を行っている（図 3-32）。風車の主要な構成素材である鉄や銅、アルミニウムといった金属、コンクリートや GFRP は既存のリサイクル・処理ルートが確立しており、風車の撤去時には、産業廃棄物処理業者・リサイクル業者等への委託により、一般的なりサイクル・処理が行われていると考えられる。

風車の解体は、重機（クレーン等）と手解体を併用し、素材別に分別することとなる。素材別に分別した後の一般的な 2 次処理・資源売却先としては、以下が想定される。

- 鉄については、手解体またはガス溶断を経て、売却できるものは電炉メーカーに売却される。
- モーターや、ハーネス、制御盤（基板）は、溶断の前に手解体にて取り外し、モーターは、モータースクラップとして、専門リサイクル業者に売却される。中にエナメル線などが入っているため、鉄より少し高い値段で売却可能。
- ハーネスは、線の部分を取り外して、ナゲット処理業者に売却する。2 次処理後、銅は製錬メーカーに、ポリ塩化ビニル（PVC）はプラスチックリサイクルか、最終処分に回される。
- 基板は制御盤から取り外した後に破碎し、磁力選別・アルミ選別を経て、鉄は電炉メーカーに、アルミニウムはアルミ 2 次合金メーカーに売却される。金銀類（金、銀、プラチナ、パラジウム等）は銅製錬メーカーに売却され、残ったプラスチックは、磁力選別・アルミ選別を経て、チップは製紙メーカー、石灰メーカー、スラグリサイクル業者等に売却される。チップは、従来 A 重油を使用していたボイラの代替燃料としても販売される。
- GFRP は破碎後、製紙メーカー等に売却するか、最終処分を行う。破碎したものは、サーマルリサイクル後に残渣を埋め立てるか、一部はセメント材料として利用される。
- 金属複合物は、破碎をして、磁力選別・非鉄選別を経て、各種素材（鉄、アルミニウム、銅、ステンレス、プラスチック等）がそれぞれ売却される。

³² 環境省「平成 25 年度使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル促進調査委託業務 報告書」（平成 25 年 3 月）

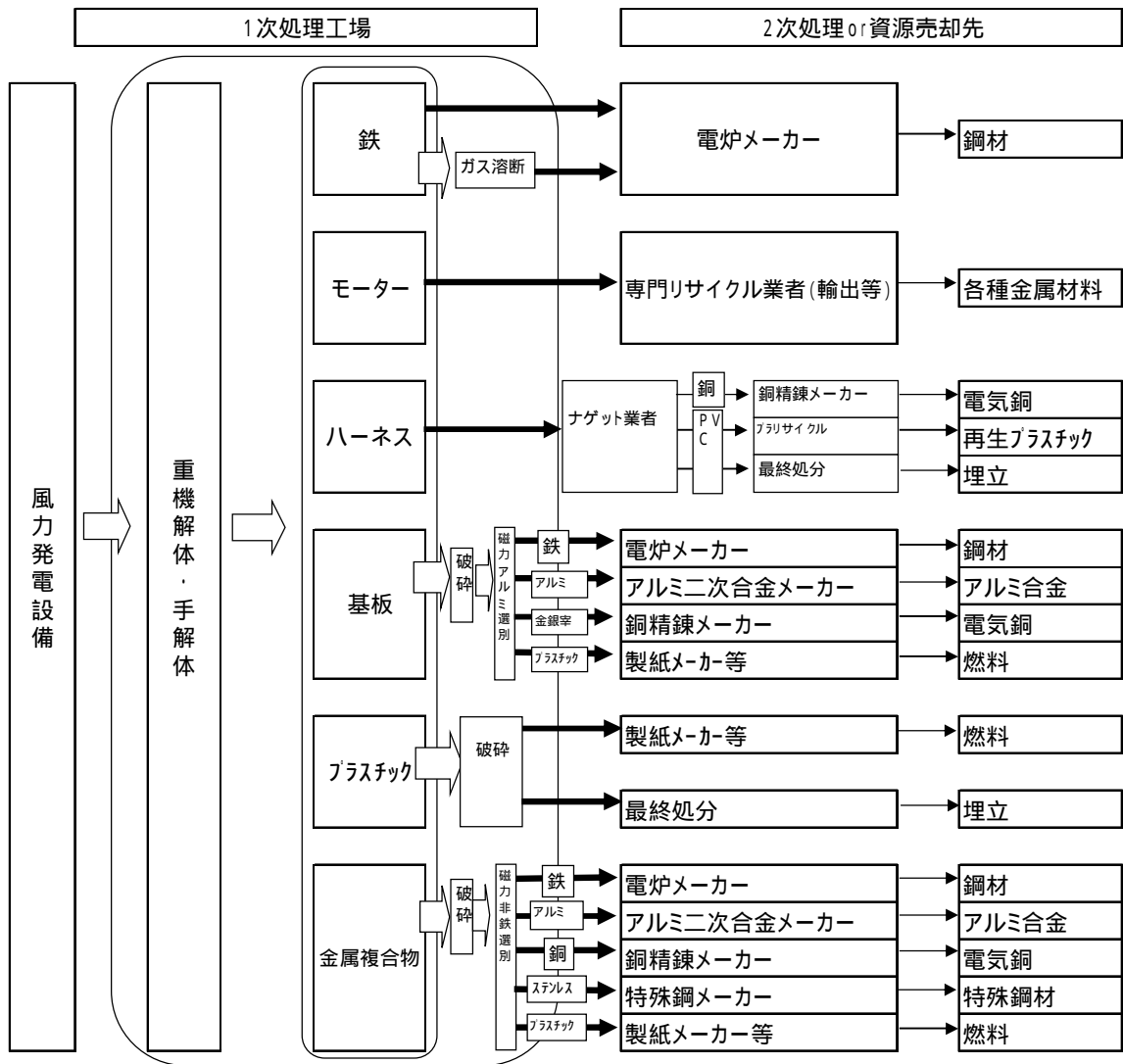


図 3-32 風車のリサイクル・処理フロー

上記フローに基づきリサイクルされた、部品・素材別の有償レベルおよび買取単価事例³³を表 3-7 に示す。ここで、有償レベルの判定結果および買取単価・買取額に関しては、あくまで検討の一例であり、今後市況等により変化することに留意が必要である。

表 3-7 風車を構成する素材の有償レベル・買取単価事例

部品・素材		有償レベル	買取単価 (円/kg)	
鉄		1	30	
モーター		1	50	
被覆線 (ハーネス)		1	160	
基板		1	200	
プラスチック (GFRP)		3	(60)	
金属 複 合	鉄	1	30	20
	銅			120
	プラスチック			(30)
	アルミ			80
	ステンレス (304 系)			80

1 有償レベルは以下のように設定。

レベル1：そのままの状態、有償で譲渡可能

レベル2：破砕・選別など通常のリサイクルで想定される工程を経ることによって有償で譲渡可能

レベル3：上記以外

2 括弧内は逆有償

3.3.4 風車のリサイクルに係る留意事項

鉄や銅、アルミニウム等の金属が風車、ナセルの主な素材であり、風車全体(基礎を除く)およびナセルの約 90%を占めている。これらの素材は既存のリサイクルルートが確立しており、現在顕在化している問題はないが、有用資源の活用の観点からは永久磁石式発電機のリサイクル可能性、また、一定量の排出が見込まれるブレード (GFRP) のリサイクルについて検討する必要がある。

(1) 永久磁石式発電機のリサイクル可能性

資源価値が高いものとしては、発電機内の銅コイルやケーブルに含まれる銅に加えて、永久磁石式発電機が用いられている場合、磁石に含まれるネオジウム、ジスプロシウム等のレアメタルが挙げられる。永久磁石式同期発電機を用いた 2MW 風車の場合、1.5~2 トンの永久磁石を使用し、うち約 30%がネオジウム、約 4%がジスプロシウムで構成されている³⁴。また、100kW 風車では、112.8kg の永久磁石が使用されており、構成比は、鉄：65%、ネオジウム：20%、プラセオジウム：8.1%、ジスプロシウム：4.2%、コバルト：1.9%、ニオブ：0.2%で

³³ リサイクル業者へのヒアリング調査より設定。リサイクル工場における引取り時の単価を想定している。

³⁴ 第 6 回産総研レアメタルシンポジウム「風力発電における永久磁石利用の動向」(2011 年 10 月 24 日/三菱重工業 (株) 発表資料)

あった。また、重量に換算すると、ネオジウムが約 22.6kg、ジスプロシウムが約 4.8kg 使用されていた。

これらネオジウム、ジスプロシウムのリサイクルを行うためには、選別・脱磁した上で、専用の金属回収プロセスにて回収する必要がある。現在、国内においては永久磁石からレアメタルを精錬できる事業者が限られていることもあり、量・性状によっては市場での取引が困難であり、母材である鉄としてリサイクル（電炉に投入）され、ネオジウム等については回収されない可能性がある。また、磁性を帯びた状態では現場の作業や運搬が困難であることが想定されることから、実際にリサイクルする際の作業工程を検討する必要がある。

永久磁石式同期発電機を用いた風車の世界の累積導入量に占める割合は、現状で 10%程度であり、直近の永久磁石の廃棄量は小さいと考えられるが、小型風車であっても一定量のレアメタルが使用されているため、資源の有効利用の観点から、その回収可能性について検討すべき材料であると考えられる。

なお、アンケート調査で、廃棄した風車の発電機の種類について質問している。回答数 28 件のうち永久磁石式の同期式発電機は 3 件のみと、10%程度に留まる。大半は誘導発電機であり、21 件（75.0%）の回答を得ている。

永久磁石式の同期式発電機 3 件は、金属スクラップ業者に引き渡されたことが確認されたが、磁石としてリサイクルされた実績については確認できなかった。

現在は、増速機付きの誘導発電機を用いた風車が主流であり、永久磁石式の同期式発電機の廃棄数は少ないことが想定されるものの、一定量の永久磁石が使用されていることから、今後の技術開発動向も含めて引き続き情報収集することが重要と考えられる。

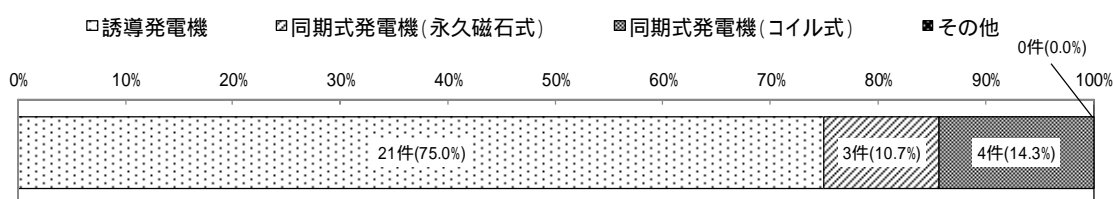


図 3-33 廃棄した風車の発電機の種類（回答数：28 件）

(2) GFRP のリサイクル可能性

GFRP はブレードやナセルカバーに多く使用されており、リサイクル技術の確立が必要とされている。ここでは、GFRP（特に、ブレード）のリサイクル技術の開発動向を整理した。

1) ブレードの廃棄量予測

ドイツ風力エネルギー研究所（DEWI）の報告によると、世界における直近のブレード廃棄量は小さいが、2020 年以降廃棄量は増加し、2034 年までに最大で約 22.5 万トンのブレードが廃棄される（リサイクルの対象となる）と予測されている。

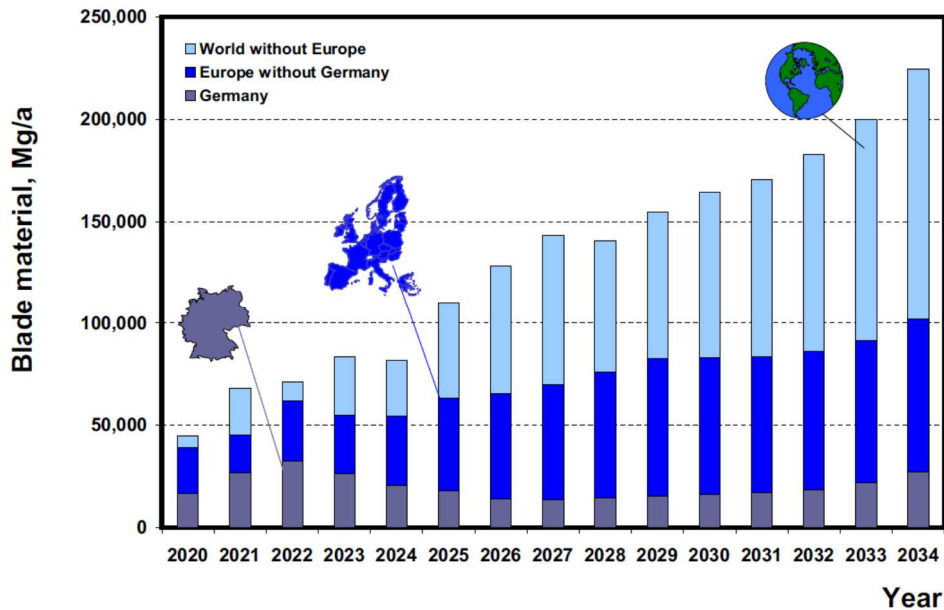


図 3-34 世界全体のブレード廃棄量の将来推計

出所) “ Recycling of Wind Turbine Rotor Blades – Fact or Fiction? ” (DEWI Magazine No.34, Feb.2009)

2) 海外におけるブレードのリサイクルに関する情報

ブレードのリサイクルについては、現状では、ガラスとプラスチックの分離が難しく、処理にコストがかかるため、一定量の廃棄量が見込まれない場合、リサイクル事業の成立は困難とする見方が多い。デンマーク工科大学は、現時点の風車の廃棄量は少ないため、ファイナンス的観点からみるとリサイクルは難しく、商業上の実現可能性はないとしている。ECRC (European Composite Recycling Company) も同様の意見であり、廃棄量が毎週何百トンというレベルであれば回収処理してセメント製造等に利用できるが、年間何十トンという現状では難しいとしている。また NaREC (National Renewable Energy Centre (英国)) は、ガラス強化繊維プラスチックの粉砕時に多くのエネルギーを消費する課題に触れ、リサイクル技術の改善が課題になるとしている³⁵。

ドイツのフラウンホーファー研究所では、ブレードの FRP の含有率が高い部分と低い部分を分別し、それぞれの状態に合わせたマテリアルリサイクルを行うリサイクル技術について研究が行われている。しかし、FRP の含有率が高い部分と低い部分を分別する点で技術的な課題があり、このフローに沿ったリサイクルは実現されていない。

³⁵ Renewable Energy Focus “ Recycling wind ” (31th Jan 2009)

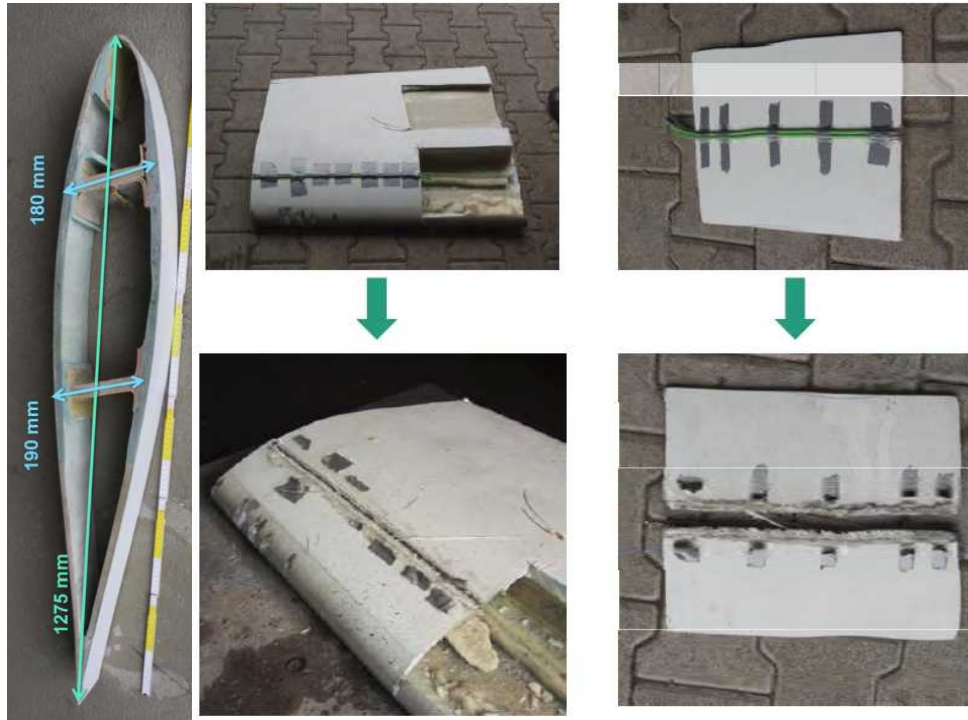


図 3-35 ブレード解体の様子

出所)“ Recycling von Windkraftanlagen ”(2013 年 6 月, フラウンホーファー研究所 Hamburg T.R.E.N.D 講演資料)

3) 国内における GFRP のリサイクルに関する情報

GFRP のリサイクルに関する取組として、国内では、平成 19 年より、FRP 船のリサイクルシステムが運用されている。FRP 船の製造事業者等の団体である一般社団法人日本マリン事業協会が中心となり、主要製造事業者 7 社(川崎重工業、スズキ、トーハツ、トヨタ自動車、日産マリーン、ヤマハ発動機、ヤンマー船用システム)等と連携し、システムを構築した。

適正処分が困難とされていた FRP 船を、指定引取場所に収集、粗解体した後、FRP 破材を中間処理場に輸送し、破碎・選別等を行い、セメント利用されている。FRP 船の収集・解体・破碎を広域的に行うことで、コストを抑えたりサイクルシステムが実現した。

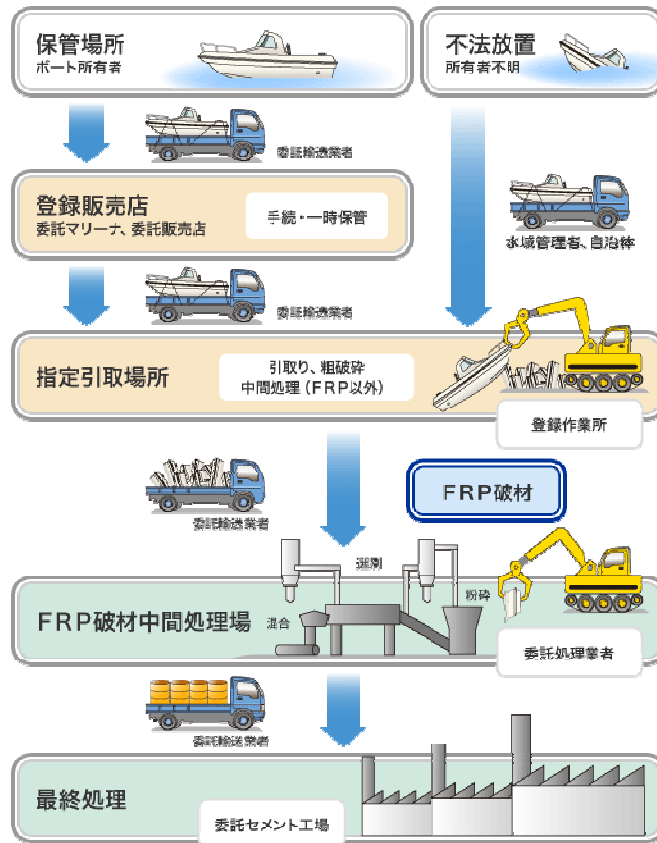


図 3-36 FRP 船リサイクルシステム

出所) 一般社団法人 日本マリン事業協会「FRP 船リサイクル」³⁶

³⁶ <http://www.marine-jbia.or.jp/recycle/>

3.3.5 風車の適正処分に係る留意事項

適正処分の観点から注視すべき素材としては、「油」と「重金属」が挙げられる。

油は、油圧ユニットをはじめ、ナセルを構成する多くの部品に含まれる。発電機や軸受に含まれるグリースは、ふき取って、廃油として処分する必要がある。また、ナセル内の油は摩擦により発生する鉄粉等が含まれている状態であるため、適正に廃油処理を行うよう、留意する必要がある。

埋立処理を想定した場合、溶出の観点から注視すべき部材として、基板、有機塗料、めっき等に含まれる重金属（鉛等）が挙げられる。100kW 風車の素材構成調査結果からは、鉛の含有が一部の部材（タワー、ナセル等に用いられる塗料、タワー内のタラップ）で確認された。本調査で用いた 100kW 風車は、洋上に設置されていた風車であることから、防錆性を持たせるために塗料に鉛が使用されたものと推察されるが、海岸近くに設置する陸上風車においても防錆性は要求されるため、処理にあたっては、鉛の含有有無、埋立処分の際の溶出可能性についても留意する必要がある。

また、現場の作業環境の観点からは、FRP の粉塵等の問題が挙げられる。FRP を用いたブレードの切断等を行う際は、FRP の粉塵が発生するため、作業者の安全対策等を講じる必要がある。



図 3-37 ブレード解体作業の様子

出所) Green-Ener-Tech Denmark ウェブページ

3.4 風車のリユース・リサイクル・適正処分に係るコスト

3.4.1 リユースを想定した解体コスト

風車および部品・部材のリユースを想定した場合、解体作業は丁寧に、各部品を損傷することなく実施する必要があることから、リサイクル・廃棄を想定した場合より、解体にかかるコストは高くなることが想定される。

国内事業者へのヒアリングでは、中大型風車（MW クラス）のリユースを想定した解体作業にかかるコスト、日数・人員について、以下の情報が得られている。

<国内事業者へのヒアリング結果>

- 風車単体の解体コスト（産廃処理コストを含む）は、基礎を破砕する場合 1,500 万円程度、基礎を残す場合 1,000 万円程度であり、風車・部品のリユースを想定した場合には、より丁寧な作業が必要となるため、解体コストはより高くなると考えられる。
- ナセル内から発電機を単体で取り外す作業は半日程度かかる。所要人数はオペレータが 1 人、クレーンの荷を引っ張る人員が 2 人、ナセル上で解体作業を行う技術員が 3 人程度、合計 6 人程度である。解体のための事前準備（発電機周辺の電気配線を外すなど）も含めれば、追加 1 日かかる。
- 解体作業には、スーパーバイザー³⁷の立会いが必ず必要であり、治具の取付箇所、ボルトの取外し手順、解体方法等、安全確保のための助言を受けながら作業を実施する。スーパーバイザーの人件費は、海外の場合は最低でも時給 100 ユーロ、国内でも日給は 8 ～ 12 万円程度必要となる。
- 大型クレーンのレンタルには、本体使用料に加えて、回送料が必要となる。また、500 トンクラスのクレーンの場合、組立・解体用に 50 トンクラスのクレーンが 2 台必要となる。また、強風等、気象条件により作業できない場合は、追加的な待機料金がかかる。
- 部品により、解体にかかる工程は異なる。発電機の場合は半日で取り外しが可能だが、増速機の場合は作業に数日かかる場合があり、事前準備を含めると 3 日程度は要すると考えられる。

以上を踏まえると、風車全体のリユースを想定した解体にかかるコストは、1,000～1,500 万円程度以上と考えられる。

また、部品単体を取り外す場合、風車全体を解体する場合と比較して所要日数が短くなるため、クレーンレンタル料は安くなると考えられる。一方で、事前の作業準備（鉄板養生、メインクレーン組立等）や、使用するクレーン・器材、所要人員は、風車全体の解体と大きく変わらないことから、相応のコストがかかることを想定する必要がある。

³⁷ スーパーバイザー（英語: supervisor）とは、監督・管理・監修を担当する人物。日本ではSVと略されることがある。

3.4.2 リサイクル・適正処分に係るコスト

(1) 国内のリサイクル・適正処分に係るコスト事例

1) 解体・撤去に係るコスト

風車のリサイクル・適正処分においては、「解体・撤去に係るコスト（現場で風車を撤去し、輸送するための解体を行う）」「輸送に係るコスト（現場から解体事業者まで、風車を輸送する）」「リサイクル・適正処分に係るコスト（解体事業者において、リサイクル・適正処分を行う）」が生じる。

「解体・撤去に係るコスト」については、風車のサイズにもよるが、事業者へのヒアリングにより、1MW 前後の風車一機あたり 1,000 万円/機程度との情報を得ている。

表 3-8 に、750kW 風車 4 機の解体・撤去（所要約 30 日）に係る主要費目のコスト事例を以下に示す。クレーン等重機のレンタルコストや人件費の他、専用治具のレンタルコスト等のコストも大きい。

なお、ここで示す数値はあくまで一例であり、風車の解体・撤去にかかるコストは、風車の立地や数、基礎や埋設ケーブルの状況等により大きく異なることに留意が必要である。

表 3-8 解体・撤去に係るコスト事例

費目	主要コスト事例	備考
クレーンのレンタルコスト	3,300 万円程度	大型クレーンのレンタルコストのほか、大型クレーンを組み立てるためのクレーンや、クレーンの運搬に係るコストなど。ここでは、具体的に、500t クラスのクレーン 1 台、および、50t クラスのクレーン 2 台を想定。
解体コスト	800 万円程度	解体に係る一般管理費・人件費等。
クレーン養生（鉄板敷設等）に係るコスト	200 万円程度	クレーン設置養生や作業道路補修、砂利施設工などに係るコスト。
専用治具のレンタルコスト	300 万円程度	クレーンで風力設備の部品を釣る際に要する専門器具。
基礎の撤去、埋設ケーブル解体に係るコスト	200 万円程度	基礎に関しては、表面の 30cm 程度を取り除き、埋め戻すケースが多い。
合計	4,800 万円程度 (16,000 円/kW 程度)	

出所) 事業者提供資料

上記の事例に加え、アンケート調査で廃棄実績のある事業者 29 件に廃棄コスト総額を尋ねたところ、19 件のデータが得られた。

しかしながら、発電規模、立地、用途（実証試験用か商用か）、運営主体（自治体か民間か）によって相当の幅を持つ（0.8～28.8 万円/kW）ことが示唆されたため、標準的なコストの把握にあたっては、更なるデータの蓄積が望まれる。

表 3-9 廃棄コスト総額（回答数：19 件）

項目	廃棄コスト
件数	19 件
平均値	9.1 万円/kW
中央値	6.5 万円/kW
最大値	28.8 万円/kW
最小値	0.8 万円/kW
加重平均値	5.7 万円/kW

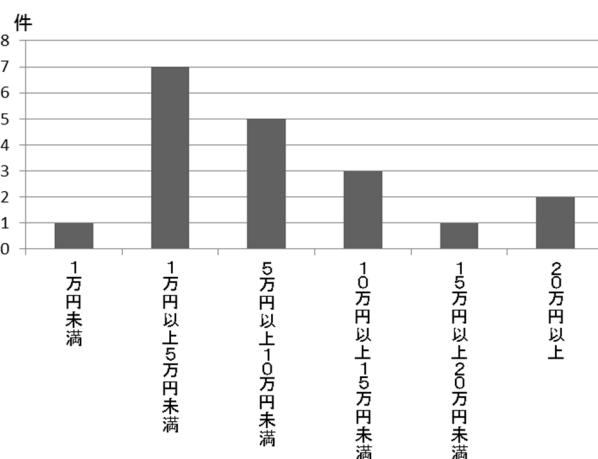


図 3-38 容量あたり廃棄総コスト[万円/kW]の件数分布

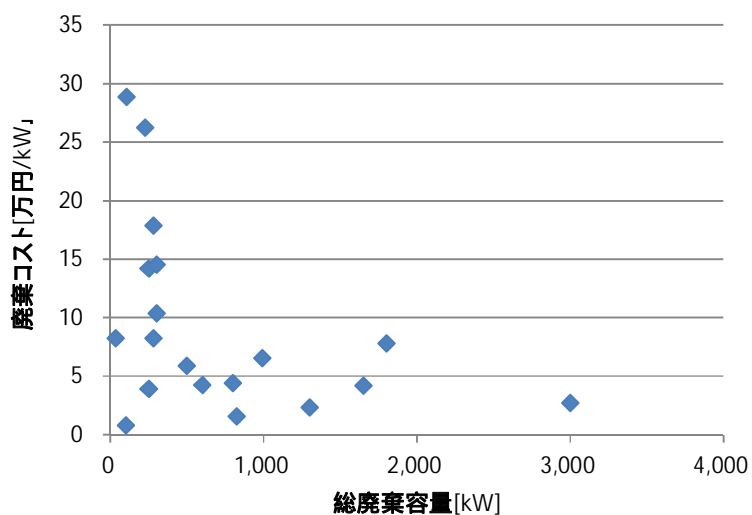


図 3-39 廃棄総容量（単基容量 × 基数）と廃棄コストの分布

2) 処理委託費用

アンケート調査により、処理委託費用として得られたデータは8件で、平均値は0.2万円/kWであった(表 3-10)。廃棄コスト総額の平均値が9.7万円/kWであることから、廃棄コストに占める処理委託費用の割合は小さく、廃棄コストの大部分は撤去・解体に係るコストが占めていることが分かる。

表 3-10 処理委託費用(回答数:8件)

項目	廃棄コスト
件数	8件
平均値	0.2万円/kW
中央値	0.1万円/kW
最大値	0.6万円/kW
最小値	0.1万円/kW

3) 素材の売却収入

アンケート調査で廃棄実績のある事業者29件のうち、素材売却収入を把握できた事業者は8件であった。平均値は0.6万円/kWであった(表 3-11)。現状では素材の売却収入によるコスト回収は難しいと考えられる。

表 3-11 素材売却収入(回答数:8件)

項目	廃棄コスト
件数	8件
平均値	0.6万円/kW
中央値	0.4万円/kW
最大値	2.7万円/kW
最小値	0.1万円/kW

上記に加え、表 3-7 で示した有償レベルおよび買取単価³⁸に基づき、図 3-11 に示した2MWクラスの風車をリサイクルした際の、素材の売却収入を試算した。なお、買取単価・買取額に関しては、あくまで検討の一例であり、今後市況等により変化することに留意が必要である。試算の結果、売却収入は、合計で3,140万円、kWあたり13,652円/kW(輸送費を含まない)となった。

表 3-12 2.3MW機をリサイクルした際の売却収入試算例

素材	重量(kg)	比率	有償 レベル	買取単価 (円/kg)	買取額 (万円)
鉄	854,000	88%	1	30	2,562
プラスチック(GFRP)	29,000	3%	3	(60)	(174)

³⁸ リサイクル業者へのヒアリング調査より設定。リサイクル工場における引取り時の単価を想定している。

素材		重量 (kg)	比率	有償 レベル	買取単価 (円/kg)	買取額 (万円)
金属 複合	銅	12,000	1%	1	120	144
	アルミニウム	76,000	8%		80	608
合計		971,000	-	-	-	3,140 (13,652 円/kW)

1 有償レベルは以下のように設定。

レベル1：そのままの状態、有償で譲渡可能

レベル2：破碎・選別など通常のリサイクルで想定される工程を経ることによって有償で譲渡可能

レベル3：上記以外

2 括弧内は逆有償

4) 小形風車の廃棄コスト

小形風車の廃棄コストについて、経済産業省の調査³⁹では表 3-13 に示す事例が示されている。廃棄コストは、2kW 基が 80 万円/基、10kW 基が 120 万円/基であり、同規模の風車の平均設置コストと比較すると、2kW 基は設置コストの 16～27%、10kW 基は設置コストの 11～15%の廃棄コストがかかっている。

表 3-13 小形風車の廃棄事例

	廃棄事例 1	廃棄事例 2
単機容量[kW]	2	10
設置年	2003	2006
廃棄年	2005	2008
廃棄費用[万円/基]	80	120
(参考) 同規模の 風車の平均設置コ スト[万円/基]	300～500	800～1,100

出所) 経済産業省「平成 26 年度新エネルギー等共通基盤整備促進事業報告書」(平成 27 年 3 月)

(2) 海外の解体・撤去に係るコスト評価事例

海外においては、米国等において、風力発電プラントの建設時の許認可時に、事業期間終了後の風車の解体・撤去に係るコスト評価(Decommissioning Plan)が行われている。表 3-14 に、米国における 3 つのプラントのコスト評価事例を示す。各事例を比較すると、プラントサイズが大きいほどスケールメリットが働き、解体処理コストが安くなる傾向が見られる。

海外の事例と、前節の国内における試算結果を比較すると、国内の解体・撤去に係るコストは海外の 1.5 倍から 3 倍程度を要している。この要因としては、事業者等のヒアリングにより、プラントの規模の違い、重機のレンタル費、輸送費、立地等の違い等が挙げられている。

³⁹ 経済産業省「平成 26 年度新エネルギー等共通基盤整備促進事業報告書」(平成 27 年 3 月)

< 国内外の風車の解体・撤去コスト差の要因 >

- ・ 海外の風力発電プラントは数百 MW 規模のものが多く、風車が数十～数百基設置されているため、スケールメリットにより kW あたり廃棄コストが小さくなる。
- ・ 日本のクレーンのレンタル費用は高く、国内のクレーンの台数が少ないことや、クレーンを輸送するコストが高いことなどが、要因として挙げられる。
- ・ 日本では、山間部等、交通が不便な場所に風車が立地していることが多い。また、日本は道幅が狭く、風車など大型のものを運搬する際は、特殊車両通行許可申請が必要となる。

また、売却収入に関して前項の試算結果と比較すると、国内の試算結果は海外の試算結果の2倍から4倍の値となっている。この要因の一つとして、素材の売却単価の違いが挙げられる。前項の国内試算では、鉄の売却単価を30円/kgに設定したが、表3-14の海外試算では鉄の売却単価は0.235ドル/kg⁴⁰(23.5円/kg⁴¹)に設定されている。同様に、アルミニウムについても、国内試算では80円/kgに設定したが、海外試算では0.5ドル/kg⁴⁰(50円/kg⁴¹)に設定されており、単価設定額の違いが売却収入の差に現れていると考えられる。

表 3-14 海外における風車の解体・撤去に係るコスト試算事例

プラント名	Sibley Wind Project ¹	Bowers Wind Project ²	Buffalo Ridge II Wind Farm ³
プラント出力	20MW	48MW	306MW
風車の単機容量、本数	1.95MW、20本	3.0MW、16本	2.1MW
解体処理コスト(ア)	9,236円/kW	4,693円/kW	4,324円/kW
売却収入(イ)	5,752円/kW	3,409円/kW	3,779円/kW
正味コスト(ア)-(イ)	3,482円/kW	1,283円/kW	545円/kW

1 ドル = 100 円で算出

出所) 1: DECOMMISSIONING PLAN (Sibley Wind Project)

2: MDEP NRPA/Site Location of Development Combined Application (Bowers Wind Project)

3: Buffalo Ridge II Wind Farm Decommissioning Report (Buffalo Ridge II Wind Farm)

⁴⁰ MDEP NRPA/Site Location of Development Combined Application (Bowers Wind Project)

⁴¹ 1 ドル = 100 円として換算。

添付資料

メガソーラー等太陽光発電システムの設置・撤去等に関するアンケート
風力発電設備のリユース・リサイクル・処分に関するアンケート調査票
風力発電設備のリユース・リサイクル・処分に関するアンケート調査結果

太陽光発電システムに関するアンケート調査
 <太陽光発電システムの設置及び発電事業者様>

グレーの網掛け部分が解答欄です。各設問へのご回答をお願い致します。

貴社の情報についてご回答下さい。

1. 社名	
2. 部署名	
3. 役職	
4. 氏名	
5. 住所	
6. メールアドレス	
7. 企業年間売上高	円

本アンケートでは、地面もしくは建物（ビル等）の屋上に設置された1000kW以上のメガソーラーに加え、出力約500kW以上の太陽光発電設備もアンケートの対象とさせていただきます。以下では、これらを「太陽光発電システム」と言います。

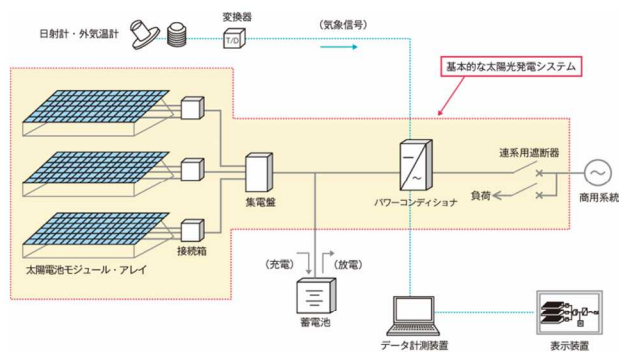


図 地上設置型太陽光発電システムの例
 出典) NEDO 再生可能エネルギー技術白書

本アンケートでは、

- ①太陽光発電システムの設置を行っている事業者(⇒「設置事業者様」シート 問1～10にご回答下さい。)
- ②太陽光発電システムの発電事業者(⇒「発電事業者様」シート 問11～17にご回答下さい。)
- ③太陽光発電システムの設置及び発電事業者(①と②の両方)(⇒すべてのシート 問1～17にご回答下さい。)

を対象に実施しております。

太陽光発電システムに関するアンケート調査
 <太陽光発電システムの設置事業者様>

グレーの網掛け部分が解答欄です。各設問へのご回答をお願い致します。

太陽光発電システムの設置実績等について

太陽光発電システムの設置実績等についてご回答ください。

問1 貴社は、太陽光発電システムの設置を行ったことがありますか。該当する番号に✓を1つ付けて下さい。

<input type="checkbox"/>	1. 太陽光発電システムの設置を行ったことがある（件数及び総ワット数もご回答下さい）
	設置を行った件数： 計 _____ 件程度
	設置を行った総ワット数： 計 _____ kW程度
<input type="checkbox"/>	2. 太陽光発電システムの設置を行ったことがない →問11にお進みください

問2 太陽光発電システムの設置等における構成部品の交換・取外し実績について、該当する番号に✓を1つ付けて下さい。

<input type="checkbox"/>	1. 設置時に構成部品の交換・取外しを行ったことがある（構成部品及び枚・台数についてもご回答下さい）。具体的な枚・台数が不明な場合は概数でも結構です。
	①太陽電池モジュール _____ 枚
	②パワーコンディショナ _____ 台
	③架台 _____ 台
	④ケーブル _____ 本
	⑤その他 _____
<input type="checkbox"/>	2. 設置時に構成部品の交換・取外しを行ったことはない。 →問5にお進みください

問3 太陽光発電システムの設置時に、構成部品の交換・取外しを行った理由について、該当する全ての番号に✓を付けて下さい。（複数回答可）

<input type="checkbox"/>	1. モジュールの不良のため
<input type="checkbox"/>	2. 設置不良のため
<input type="checkbox"/>	3. 自然災害（台風）のため
<input type="checkbox"/>	4. 自然災害（大雪）のため
<input type="checkbox"/>	5. その他の自然災害（具体的に記述して下さい）
<input type="checkbox"/>	6. その他（具体的に記述して下さい）

設置時に取外した構成部品の取扱い方法・引渡先

太陽光発電システムの設置における構成部品の交換・取外し後の取扱い方法について、以下の質問にご回答下さい。

問4 取外した構成部品の引渡先について、該当する全ての番号に✓を付けて下さい。（複数回答可）

また、引渡し先へ引渡した際の形態について、該当する番号に✓を1つ付けて下さい。可能な範囲でご回答下さい。

問4-1 問3で「1. モジュールの不良のため」とご回答された方

<引渡先> 該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）	<引渡しの形態> 引渡しごとに、該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）			
	1.売却	2.無償	3.処分費用を支払い	4.保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 1. 機器メーカー	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 2. 機器の販売店	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 3. リユース業者	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 4. 金属スクラップ業者	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 5. 中間処理業者	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 6. 最終処分業者	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 7. その他（具体的に記述して下さい）				

問4-2 問3で「2. 設置不良のため」とご回答された方

<引渡先> 該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）	<引渡しの形態> 引渡しごとに、該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）			
	1.売却	2.無償	3.処分費用を支払い	4.保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 1. 機器メーカー	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 2. 機器の販売店	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 3. リユース業者	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 4. 金属スクラップ業者	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 5. 中間処理業者	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 6. 最終処分業者	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 7. その他（具体的に記述して下さい）				

問4-3 問3で「3. 台風による自然災害」、「4. 大雪による自然災害」、「5. その他の自然災害」とご回答された方

<引渡先> 該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）	<引渡し形態> 引渡しごとに、該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）			
<input type="checkbox"/> 1. 機器メーカー	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 2. 機器の販売店	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 3. リユース業者	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 4. 金属スクラップ業者	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 5. 中間処理業者	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 6. 最終処分業者	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 7. その他 (具体的に記述して下さい)				

問4-4 問3で「6. その他」とご回答された方

<引渡先> 該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）	<引渡し形態> 引渡しごとに、該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）			
<input type="checkbox"/> 1. 機器メーカー	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 2. 機器の販売店	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 3. リユース業者	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 4. 金属スクラップ業者	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 5. 中間処理業者	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 6. 最終処分業者	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 7. その他 (具体的に記述して下さい)				

太陽光発電システムの修理時等の構成部品の交換・取外し実績等について
太陽光発電システムの修理時等における構成部品の交換・取外し実績についてご回答下さい。

問5 太陽光発電システムの修理時等におけるこれまでの構成部品の交換・取外し実績について、該当する番号に✓を1つ付けて下さい。

<input type="checkbox"/> 1. 交換・取外しを行ったことがある（構成部品及び枚・台数についてもご回答下さい）。具体的な枚・台数がご不明な場合は概数でも結構です。	
①太陽電池モジュール	枚
②パワーコンディショナ	台
③架台	台
④ケーブル	本
⑤その他	
<input type="checkbox"/> 2. 交換・取外しを行ったことはない	⇒問11にお進みください

問6 太陽光発電システムの修理時に、構成部品の交換・取外しを行った理由について、該当する全ての番号に✓を付けて下さい。（複数回答可）

<input type="checkbox"/> 1. 故障したため
<input type="checkbox"/> 2. 自然災害（台風）のため
<input type="checkbox"/> 3. 自然災害（大雪）のため
<input type="checkbox"/> 4. その他の自然災害 (具体的に記述して下さい)
<input type="checkbox"/> 5. 発電量が低下したため
<input type="checkbox"/> 6. 維持管理費コストとの折り合いが付かなかったため
<input type="checkbox"/> 7. その他 (具体的に記述して下さい)

修理時等に取外した部品の取扱い方法・引渡先
太陽光発電システムの修理における構成部品の交換・取外し後の取扱い方法について、以下の質問にご回答下さい。

問7 取外した部品の引渡先について、該当する全ての番号に✓を付けて下さい。（複数回答可）
また、引渡し先へ引渡しした際の形態について、該当する番号に✓を1つ付けて下さい。可能な範囲でご回答下さい。

問7-1 問6で「1. 故障したため」とご回答された方

<引渡先> 該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）	<引渡し形態> 引渡しごとに、該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）			
<input type="checkbox"/> 1. 機器メーカー	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 2. 機器の販売店	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 3. リユース業者	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 4. 金属スクラップ業者	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 5. 中間処理業者	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 6. 最終処分業者	<input type="checkbox"/> 1 売却	<input type="checkbox"/> 2 無償	<input type="checkbox"/> 3 処分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 7. その他 (具体的に記述して下さい)				

問7-2 問6で「2. 台風による自然災害」、「3. 大雪による自然災害」、「4. その他の自然災害」とご回答された方

＜引渡先＞ 該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）	＜引渡し形態＞ 引渡先ごとに、該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）			
<input type="checkbox"/> 1. 機器メーカー	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 2. 機器の販売店	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 3. リユース業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 4. 金属スクラップ業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 5. 中間処理業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 6. 最終処分業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 7. その他 (具体的に記述して下さい)				

問7-3 問6で「5. 発電量が低下したため」とご回答された方

＜引渡先＞ 該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）	＜引渡し形態＞ 引渡先ごとに、該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）			
<input type="checkbox"/> 1. 機器メーカー	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 2. 機器の販売店	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 3. リユース業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 4. 金属スクラップ業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 5. 中間処理業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 6. 最終処分業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 7. その他 (具体的に記述して下さい)				

問7-4 問6で「6. 維持管理費コストとの折合いが付かなかったから」とご回答された方

＜引渡先＞ 該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）	＜引渡し形態＞ 引渡先ごとに、該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）			
<input type="checkbox"/> 1. 機器メーカー	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 2. 機器の販売店	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 3. リユース業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 4. 金属スクラップ業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 5. 中間処理業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 6. 最終処分業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 7. その他 (具体的に記述して下さい)				

問7-5 問6で「7. その他」とご回答された方

＜引渡先＞ 該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）	＜引渡し形態＞ 引渡先ごとに、該当する全ての番号に✓を付けて下さい（複数回答可）			
<input type="checkbox"/> 1. 機器メーカー	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 2. 機器の販売店	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 3. リユース業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 4. 金属スクラップ業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 5. 中間処理業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 6. 最終処分業者	<input type="checkbox"/> 1.売却	<input type="checkbox"/> 2.無償	<input type="checkbox"/> 3.単分費用を支払い	<input type="checkbox"/> 4. 保険会社が費用を負担
<input type="checkbox"/> 7. その他 (具体的に記述して下さい)				

太陽光発電システムの構成部品の交換・取外し方法について

問8 太陽光発電システムの構成部品の交換・取外しの際に留意する点について、該当する全ての番号に✓を付けて下さい。（複数回答可）

<input type="checkbox"/>	1. 転落防止	
<input type="checkbox"/>	2. 感電防止	
<input type="checkbox"/>	3. 火災防止	
<input type="checkbox"/>	4. 有害物質の管理 （鉛、セレン、カドミウム等）	
<input type="checkbox"/>	5. その他 （具体的に記述して下さい）	

太陽光発電システムの撤去について

問9 将来、太陽光発電システムの撤去作業が行われる場合、貴社が当該業務を引き受ける（貴社が業務を受け、他の事業者にも発注する場合も含みます）ための条件について、該当する全ての番号に✓を付けて下さい。（複数回答可）

<input type="checkbox"/>	1. 業務の費用（引き受け可能な1件あたりの費用の目安を記述して下さい）	1件あたり		万円以上
<input type="checkbox"/>	2. 業務の規模（引き受け可能な1件あたりの発電量の目安を記述して下さい）	1件あたり		kW以上
<input type="checkbox"/>	3. その他 （具体的に記述して下さい）			
<input type="checkbox"/>	4. 撤去業務は引き受けない予定である。			

問10 将来、太陽光発電システムの撤去作業が行われる場合、撤去作業を行うと想定される主体について、該当する全ての番号に✓を付けて下さい。（複数回答可）

<input type="checkbox"/>	1. 自社
<input type="checkbox"/>	2. 建物解体業者
<input type="checkbox"/>	3. 太陽光発電システム設置業者
<input type="checkbox"/>	4. その他 （具体的に記述して下さい）
<input type="checkbox"/>	5. 不明である

～以上でアンケートは終了です。ご協力頂き、ありがとうございました。～
 ※発電事業も行っていらっしゃる場合は、引き続き「発電事業者様」のアンケートにもご協力をお願い致します。

太陽光発電システムに関するアンケート調査
 <太陽光発電システムの発電事業者様>

グレーの網掛け部分が解答欄です。各設問へのご回答をお願い致します。

問11 貴社は、太陽光発電システムの発電事業者ですか。該当する番号に✓を1つ付けて下さい。

<input type="checkbox"/> 1. 発電事業者である (件数及び総ワット数もご回答下さい)			
件数:	計		件程度
総ワット数:	計		kW程度
<input type="checkbox"/> 2. 発電事業者ではない →以上でアンケートは終了です。ご協力頂き、ありがとうございました。			

問12 現在貴社が発電事業を行っている太陽光発電システムの設置場所として該当する番号全てに✓を1つ付けて下さい。(複数回答可)

<input type="checkbox"/> 1. 公共施設
<input type="checkbox"/> 2. 民間施設 (自社保有地含む)

問13 貴社は、FIT (固定価格買取制度) における買取期間終了後、太陽光発電システムの発電事業を継続する予定ですか。該当する番号に✓を1つ付けて下さい。問12の回答 (1. 公共施設、2. 民間施設) によって該当欄にご回答下さい。

問12で「1. 公共施設」とご回答された方	問12で「2. 民間施設 (自社保有地含む)」とご回答された方
<input type="checkbox"/> 1. 継続する予定である	<input type="checkbox"/> 1. 継続する予定である
<input type="checkbox"/> 2. 継続する予定はない	<input type="checkbox"/> 2. 継続する予定はない

今後の見込みについて

太陽光発電システムの将来の取扱方法について、以下の質問にご回答下さい。

問14 現在使用している太陽光発電システムは、使用後どのような措置を取る予定ですか。該当する番号に✓を1つ付けて下さい。問12の回答 (1. 公共施設、2. 民間施設) によって該当欄にご回答下さい。

問12で「1. 公共施設」とご回答された方	問12で「2. 民間施設 (自社保有地含む)」とご回答された方
<input type="checkbox"/> 1. 廃棄する予定である	<input type="checkbox"/> 1. 廃棄する予定である
<input type="checkbox"/> 2. 取外してリサイクルを行う予定である	<input type="checkbox"/> 2. 取外してリサイクルを行う予定である
<input type="checkbox"/> 3. 取外してリユースを行う予定である	<input type="checkbox"/> 3. 取外してリユースを行う予定である
<input type="checkbox"/> 4. そのまま設置したままにする予定である	<input type="checkbox"/> 4. そのまま設置したままにする予定である
<input type="checkbox"/> 5. わからない	<input type="checkbox"/> 5. わからない
<input type="checkbox"/> 6. その他 (具体的に記述して下さい)	<input type="checkbox"/> 6. その他 (具体的に記述して下さい)

問15 太陽光発電システムを撤去する理由について、想定される範囲内で、該当する全ての番号に✓を付けて下さい。(複数回答可) 問12の回答 (1. 公共施設、2. 民間施設) によって該当欄にご回答下さい。

問12で「1. 公共施設」とご回答された方	問12で「2. 民間施設 (自社保有地含む)」とご回答された方
<input type="checkbox"/> 1. 土地の契約上、撤去を行わなければならないため	<input type="checkbox"/> 1. 土地の契約上、撤去を行わなければならないため
<input type="checkbox"/> 2. 発電量が低下すると考えられるため	<input type="checkbox"/> 2. 発電量が低下すると考えられるため
<input type="checkbox"/> 3. FIT (固定価格買取制度) における買取期間が終了するため	<input type="checkbox"/> 3. FIT (固定価格買取制度) における買取期間が終了するため
<input type="checkbox"/> 4. 性能が良い新しいもの太陽光発電システムを導入したいため	<input type="checkbox"/> 4. 性能が良い新しいもの太陽光発電システムを導入したいため
<input type="checkbox"/> 5. 維持管理費コストとの折り合いが付かなかったため	<input type="checkbox"/> 5. 維持管理費コストとの折り合いが付かなかったため
<input type="checkbox"/> 6. その他 (具体的に記述して下さい)	<input type="checkbox"/> 6. その他 (具体的に記述して下さい)

問16 現在使用している太陽光発電システムを撤去するのは、いつ頃を予定していますか。設置時からの年数及び具体的な想定年について、想定される内容をお答え下さい。

設置時から撤去までの想定期間	年
----------------	---

問17 太陽光発電システムの建設・設置時に、将来の太陽光発電システムの廃棄費用も見込んで建設費用を設定していますか。該当する番号に○を1つ付けて下さい。なお、設定している場合、廃棄費用は建設費用の何%程度を想定していますか。

<input type="checkbox"/> 1. 廃棄費用を見込んでいる	建設費用の	%程度
<input type="checkbox"/> 2. 廃棄費用は見込んでいない		

～以上でアンケートは終了です。ご協力頂き、ありがとうございました。～

平成26年度使用済再生可能エネルギー設備のリサイクル等
促進実証調査委託業務 報告書

2015年3月

株式会社 三菱総合研究所
環境・エネルギー研究本部

この印刷物は、国等による環境物品等の調達に関する法律（グリーン購入法）に基づく基本方針の判断の基準を満たす紙を使用しています。