

2018 年度～2019 年度 調査報告書

固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発事業  
燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査

2020 年 3 月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先 一般社団法人 日本電機工業会

## 目 次

1	事業目的 .....	1
2	事業概要 .....	1
2.1	技術仕様調査.....	1
2.2	環境性能調査.....	1
2.3	分析及びグローバルプラットフォームの明確化.....	1
3	事業内容 .....	1
3.1	プロジェクト推進体制 .....	1
3.2	技術仕様調査.....	2
3.3	環境性能調査.....	2
3.4	分析及びグローバルプラットフォームの明確化.....	3
3.4.1	調査結果の分析・整理 .....	3
3.4.2	燃料電池のグローバルな要求仕様の明確化 .....	3
3.4.3	燃料電池技術の海外展開の具体化.....	3
4	成果概要 .....	3
4.1	プロジェクト総括 .....	3
4.2	技術仕様調査.....	3
4.2.1	国際会議、展示会等 .....	3
4.2.2	環境への取組と規制動向等 .....	6
4.2.3	調査対象の有益性の評価.....	7
4.3	環境性能調査.....	9
4.4	分析及びグローバルプラットフォームの明確化.....	11
4.4.1	調査結果の分析・整理 .....	11
4.4.2	燃料電池技術のグローバルな要求仕様の明確化 .....	12
4.4.3	燃料電池技術の海外展開の具体化.....	22
5	結言 .....	24

## 図表リスト

図 1 – LCA 評価の作業手順 .....	2
図 2 – 欧州における酸性雨影響リスク .....	11
図 3 – 冷却方式と電気出力及びスタックサイズとの関係 .....	23
表 1 – 技術仕様調査 国際会議・展示会等の調査実績 (2018 年度) .....	4
表 2 – 技術仕様調査 国際会議・展示会等の調査実績 (2019 年度) .....	5
表 3 – 技術仕様調査 環境への取組と規制の動向等の調査実績 (2018 年度) .....	6
表 4 – 技術仕様調査 環境への取組と規制の動向等の調査実績 (2019 年度) .....	6
表 5 – 国際会議、展示会に関する各調査対象の有益性の評価 .....	7
表 6 – 旅客目的で登録されている船舶数 .....	14
表 7 – エネファームの基幹部品 (スタック) の各市場への適合性の評価 .....	20
表 8 – FCV の基幹部品 (スタック) の各市場への適合性の評価 .....	21

## 添付資料リスト

- 資料 1-1A 出張報告書(CHFCE2018)
- 資料 1-1B 出張報告書(CHFCE2018)
- 資料 1-2 出張報告書(f-cell)
- 資料 1-3 出張報告書(Hydrogen+FC North America 2018)
- 資料 1-4 出張報告書(H2World 2018)
- 資料 1-5A 出張報告書(Power2Gas Conference)
- 資料 1-5B 出張報告書(Power2Gas Conference)
- 資料 1-6 出張報告書(Hydrogen & Fuel Cells Energy Summit 2019 及び CALVERA 社)
- 資料 1-7 出張報告書(台湾)
- 資料 2-1A 出張報告書(Hannover Messe 2019)
- 資料 2-1B 出張報告書(Hannover Messe 2019)
- 資料 2-2 出張報告書(韓国)
- 資料 2-3 出張報告書(European Fuel Cell Forum、Intelligent Energy 社及び Ceres Power 社)
- 資料 2-4 出張報告書(European Fuel Cell 2019 及び NedStack 社)
- 資料 2-5A 出張報告書(矢野特殊自動車)
- 資料 2-5B 出張報告書(矢野特殊自動車)
- 資料 2-6 出張報告書(日本鉄道技術総合研究所)
- 資料 2-7 出張報告書(トヨタ自動車)
- 資料 3-1 出張報告書(Austrian Energy Agency)
- 資料 3-2 出張報告書(French Alternative Energies and Atomic Energy Commission)
- 資料 3-3 出張報告書(IEA TCP AFC Annex33 2018 年)
- 資料 4-1 出張報告書(IEA TCP AFC Annex33 2019 年)
- 資料 4-2 出張報告書(VerdeXchange)
- 資料 5-1 環境性能調査のレポート(2018 年)
- 資料 5-2 環境性能調査のレポート(2019 年)

## 和文要約

技術仕様調査では国際会議や展示会での情報収集や欧州の燃料電池関連メーカーとの打合せを通して、世界各地の燃料電池の用途別に要求される技術仕様に関する情報を収集することができた。

LCA(Life Cycle Assessment) を実施し、環境影響指標である地球温暖化、資源枯渇、酸性雨等の複数の環境負荷項目を包括して環境影響評価を行い、それぞれの環境影響に対する燃料電池の各技術の影響度を明確にすることができた。さらに従来のエネファームと純水素を燃料とする家庭用燃料電池システムについて LCA を実施した結果から、インパクトカテゴリーごとに各プロセスが及ぼす影響を明らかにするとともに、今後大きい進展が期待される純水素を燃料とする燃料電池システムについては、燃料となる水素の製造方式の違いが環境性に大きい影響を及ぼすことが示唆され、グローバルな市場拡大のための課題を抽出することができた。

LCA の評価結果に加え、Austrian Energy Agency 及び HyLAW プロジェクトの調査結果から、小形燃料電池コージェネレーションシステムの市場は特に欧州で大きく今後の普及への期待が大きい、同時に市場拡大への課題についても確認することができた。

上記の調査結果を分析した結果、量産によりコストも極限まで低減されているエネファームの基幹部品の内、スタックについては家庭用燃料電池システム以外への適用の可能性も見いだすことができた。一方、他用途への展開を進めていく上では、スタックの一部改良もしくはスタックそのものには手を加えず補機部品の改良も必要であるとの結論に至った。展開のための対策としては以下の3項目を抽出した。①水冷のためのラジエターの低コスト・小形・高効率化、②連結接合技術、③PEFC スタック/セルの高温化技術改質器は、今回の調査では天然ガス、プロパンガス等を燃料とする家庭用もしくは小形燃料電池システム以外に大きいマーケットを見いだすことが出来なかったが、燃料電池関連の基幹部品として日本が圧倒的優位に立つ技術であり、今後さらに用途展開を検討すべきと考える。

本調査を通して、水電解等の関連分野の情報も幅広く入手することができ、加えて今後の情報入手に有効な国際会議等を選別することができた。

## 英文要約

In the technical specification survey, we were able to gather information on technical specifications required for fuel cell applications in various regions in the world through collecting information at international conferences and exhibitions and meeting with fuel cell manufacturers in Europe.

Perform LCA(Life Cycle Assessment) and conduct environmental impact assessments covering multiple environmental impact items such as global warming, resource depletion, and acid rain, which are environmental impact indicators, and the degree of impact of each fuel cell technology on each environmental impact. Was able to clarify. Furthermore, based on the results of LCA conducted on conventional energy-efficient and household fuel cell systems using pure hydrogen as fuel, the effects of each process on each impact category will be clarified, and pure hydrogen, which is expected to make great progress in the future, will be identified. As for the fuel cell system using fuel, it was suggested that the difference in the production method of hydrogen used as fuel had a great effect on environmental performance, and it was possible to identify issues for expanding the global market.

Based on the results of the LCA evaluation and the results of the surveys by the Austrian Energy Agency and the HyLAW project, the market for small fuel cell cogeneration systems is particularly large in Europe and is expected to be widely used in the future. I was able to confirm.

As a result of analyzing the above survey results, among the core components of ENE-FARM, whose cost has been reduced to the utmost by mass production, it was found that the stack could be applied to other than home fuel cell systems. On the other hand, it was concluded that in order to proceed to other applications, it was necessary to improve some parts of the stack or the auxiliary parts without modifying the stack itself. The following three items were extracted as measures for deployment.①Low cost, small size and high efficiency of radiator for water cooling②Connection joining technology③ High temperature technology for PEFC stack / cellIn this survey, no major market could be found for reformers other than home or small fuel cell systems that use natural gas, propane gas, etc. as fuel, but Japan was overwhelming as a key component related to fuel cells. This is a superior technology, and we believe that further application development should be considered in the future.

Through this survey, information on related fields such as water electrolysis was widely available, and in addition, international conferences etc. that were effective for future information could be selected.

## 1 事業目的

我が国が保有する燃料電池技術を効率よくグローバルに普及展開させるためには、その地域が求めている用途と要求技術仕様を適切に把握して技術開発にフィードバックしていく必要がある。また、これまで国内では燃料電池に関してエネルギー効率の向上に重点が置かれてきたが、昨今は環境先進地域である欧州において多様なエネルギー源に関する資源枯渇や大気汚染等への影響も含めた環境性能が重視され始めていることから、今後我が国の燃料電池技術の海外展開を推進する上では、このような環境影響の観点を考慮することは不可欠である。

この様な背景の下、本事業は燃料電池に関する世界各地の技術仕様と環境性能の調査及び分析を行い、その結果を我が国の燃料電池関係機関に広く共有することを目的として実施した。

## 2 事業概要

本事業では世界各地の様々な情報を収集し、①当該地域で用途ごとに要求される技術仕様を明らかにすると共に(技術仕様調査)、②Life Cycle Assessment(LCA)等の手法により燃料電池システムの各技術要素が影響を与える環境項目及びその影響度を明らかにした(環境性能調査)。③そしてこれらの結果を踏まえて、日本の燃料電池技術の海外展開を加速させるために必要な技術開発項目や目標を導き出し、今後取り組むべき研究開発の方向性を検討した(分析及びグローバルプラットフォームの明確化)。実施した項目は以下のとおり。

### 2.1 技術仕様調査

各地域が求める用途と燃料電池技術仕様の情報を得るため、地域ごとの主要な国際会議に参加して最新の市場動向と研究開発動向を調査すると共に関連機関等へヒアリングを行った。

### 2.2 環境性能調査

燃料電池システムに要求される仕様は、環境影響指標である地球温暖化、資源枯渇、酸性雨、大気汚染や人間毒性等に対する各地域での重要度の違いを反映したものととなる。そのため、まずは燃料電池システムの基幹部品のどの技術要素が、どの環境影響項目にどの程度の影響を及ぼすかを LCA により明確にし、環境視点の要求仕様と地域性の関連性を考察した。

### 2.3 分析及びグローバルプラットフォームの明確化

2.1 及び 2.2 の調査結果を踏まえ、日本の燃料電池技術の海外展開を加速させるために必要な技術開発項目や目標を導き出し、最低限具備すべき共通要求仕様を抽出して、燃料電池技術のグローバルなプラットフォーム化に向けた取組案を纏めた。

## 3 事業内容

### 3.1 プロジェクト推進体制

本事業を進めるに当たり、日本電機工業会が長年に亘り築き上げてきたネットワークである日本国内の燃料電池関連の製造・開発企業及び大学・研究機関等で構成されている委員会の協力を得て、最適な専門委員で構成された作業会を組織して調査を実施した。作業会は 15 回開催し、都度得られた情報の共有と課題等について議論すると共に日本の燃料電池技術の海外展開を加速させるために必要な技術開発や目標を導き出し、今後取り組むべき研究開発の方向性を示すことができた。

さらに、最低限具備すべき共通要求仕様を抽出して、燃料電池技術のグローバルなプラットフォーム化に向けた取組案を取り纏めた。

また、本事業の調査結果、提案内容についての客観性を担保するため、関連団体等を含め幅広い委員からなる燃料電池技術のプラットフォーム化検討委員会(作業会の親委員会)を組織し、本調査期間内で 6 回開催して作業会の進め方の概要、実施内容、成果などを評価・検討した。

### 3.2 技術仕様調査

燃料電池の仕様を決定する上では、燃料電池が使用される地域環境が強く影響を及ぼすと考えられるため、市場として想定される地域における関連機関の研究開発テーマの設定(その背景や課題設定)や目標レベルを知ることは、必要不可欠である。このため燃料電池技術の市場として重要な地域ごとに開催される代表的な国際会議、展示会に参加し、発表内容のみならず研究開発者からの直接ヒアリングにより情報を収集した。

#### (1) 国際会議、展示会等

主要な国際会議、展示会、国内外の研究機関及び企業等、総数 25 カ所の調査対象から情報を収集した。合わせて、これらの調査対象の今後の活用も視野に、調査対象の有益性の評価も実施した。

#### (2) 環境への取組と規制動向等

今後の燃料電池技術の開発の方向を見定めるために、環境先進国である欧州での環境への取組と規制の動向等について関連研究機関等に対してヒアリング調査をおこない、今後要求されてくる燃料電池技術の仕様を導き出した。

### 3.3 環境性能調査

燃料電池システムの環境性能調査として、普及している代表的な燃料電池システムであるエネファーム及び純水素を燃料とする家庭用燃料電池システムの LCA を実施し、環境影響指標である地球温暖化、資源枯渇、酸性雨等の複数の環境負荷項目を包括して環境影響評価を行い、それぞれの環境影響に対する燃料電池の各技術の影響度を明確にした。

実施した LCA の具体的な進め方を図 1 に示す。LCA 算定ソフト(SimaPro (Ver.2) 等)を用いて、JEMA で保有する燃料電池システムの Bill of materials (部品構成表:BOM)、製品製造時のユーティリティ消費量、使用時のシナリオ等の情報と、インベントリ分析に必要となる、LCA データベース(ecoinvent (Ver.3.4)) のデータとを最適な条件で連携させ、ライフサイクルインベントリ分析を行った。作業会にてこれを評価し、その結果に基づき、LCA 算定ソフト及びライフサイクル影響評価手法(欧州環境フットプリント等)を用いてライフサイクル影響評価、ホットスポット分析を行った。

LCA 算定ソフトの操作、処理作業に係わるデータベースの取扱い等についてはノウハウを有する業者に当該作業を外注し、算定作業の効率化を図った。

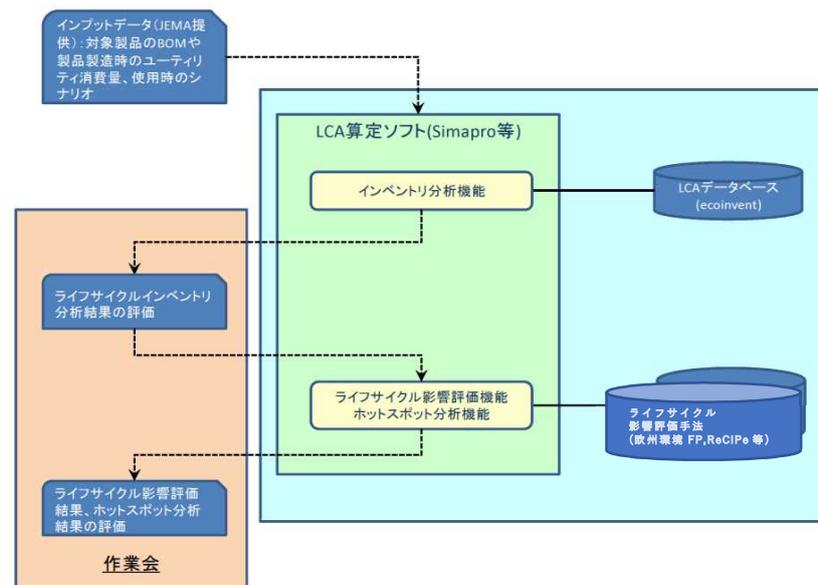


図 1 - LCA 評価の作業手順

## 3.4 分析及びグローバルプラットフォームの明確化

### 3.4.1 調査結果の分析・整理

3.2 及び 3.3 の調査結果を踏まえて、用途ごとに市場規模や技術仕様等の様々な観点から整理し、どのようなニーズがあるかの全貌を把握した。

### 3.4.2 燃料電池のグローバルな要求仕様の明確化

3.4.1 の整理結果に基づき、海外展開を加速させるために必要と判断されるニーズ、そのニーズに対応するための技術開発項目を導き出した。またその中から、地域性などによらず、海外展開加速のために最低限保有すべき仕様を燃料電池技術のグローバルな要求仕様として抽出、整理した。この仕様を具備したものをグローバルプラットフォームと位置づけ、グローバルプラットフォームを製品に反映するために必要となる技術開発要素を明確化した。

### 3.4.3 燃料電池技術の海外展開の具体化

3.4.2 でまとめられたグローバルプラットフォームとしての仕様の内、燃料電池業界共通の視点で、海外展開への開発課題について具体的な項目の絞り込みを行った。

## 4 成果概要

### 4.1 プロジェクト総括

技術仕様調査では国際会議や展示会での情報収集や欧州の燃料電池関連メーカーとの打合せを通して、世界各地域の燃料電池の用途別に要求される技術仕様に関する情報を収集することができた。

また LCA を実施し、環境影響指標である地球温暖化、資源枯渇、酸性雨等の複数の環境負荷項目を包括して環境影響評価を行い、それぞれの環境影響に対する燃料電池の各技術の影響度を明確にすることができた。さらに従来のエネファームと純水素を燃料とする家庭用燃料電池システムについて LCA を実施した結果から、インパクトカテゴリーごとに各プロセスが及ぼす影響を明らかにするとともに、今後大きい進展が期待される純水素を燃料とする燃料電池システムについては、燃料となる水素の製造方式の違いが環境性に大きい影響を及ぼすことが示唆され、グローバルな市場拡大のための課題を抽出することができた。また LCA の評価結果に加え、Austrian Energy Agency 及び HyLAW プロジェクトの調査結果から、小形燃料電池コージェネレーションシステムの市場は特に欧州で大きく今後の普及への期待が大きい、同時に市場拡大への課題についても確認することができた。

上記の調査結果を分析した結果、量産によりコストも極限まで低減されているエネファームの基幹部品の内、スタックについては家庭用燃料電池システム以外への適用の可能性も見いだすことができた。一方、他用途への展開を進めていく上では、スタックの一部改良もしくはスタックそのものには手を加えず補機部品の改良も必要であるとの結論に至った。

改質器は、今回の調査では天然ガス、プロパンガス等を燃料とする家庭用もしくは小形燃料電池システム以外に大きいマーケットを見いだすことが出来なかったが、燃料電池関連の基幹部品として日本が圧倒的優位に立つ技術であり、今後さらに用途展開を検討すべきと考える。

本調査を通して、水電解等の関連分野の情報も幅広く入手することができ、加えて今後の情報入手に有効な国際会議等を選別することができた。

### 4.2 技術仕様調査

#### 4.2.1 国際会議、展示会等

本事業を通して調査した国際会議や展示会への参加、研究機関や企業への戸別訪問の一覧、その概要と参照報告書番号を表 1 及び表 2 に示す。

表 1 – 技術仕様調査 国際会議・展示会等の調査実績 (2018 年度)

	調査対象	概要	場所	期間	参照報告書 番号
1	Third China International Hydrogen and Fuel Cell Conference & Exhibition(CHFCE2018)	燃料電池分野で活動が活発化している 中国での水素・燃料電池関連の展示 会併設の国際会議で、中国の活動状 況調査に有効であった。	北京	2018/7/26-27	添付資料 1-1A 1-1B
2	f-cell	主要テーマが定置用、車載、水電解と 毎年変化する。主にドイツの企業、研究 機関等の活動状況の情報が豊富であ った。	シュツットガル ト	2018/9/18-19	添付資料 1-2
3	Hydrogen+FC North America 2018	北米での主要な燃料電池国際会議。 35 の水素燃料電池関連企業や団体が ブースを出展していた。フォーラムは非 常に充実しており、水電解装置やスタッ ク関連部品の最新情報が得られた。	アナハイム	2018/9/25-27	添付資料 1-3
4	H2World 2018	2018 年度から開催の展示会となる。韓 国は燃料電池の導入を、各種補助金 などで後押ししており、中国とは異なり 定置用に注力していることから、情報収 集は重要であった。	釜山	2018/10/10-12	添付資料 1-4
5	Power2Gas Conference	再生可能エネルギー導入が 50%を超 えているデンマークでの国際会議。 Power2H のみならず Power2methane に関する情報も収集することが出来た。	コペンハーゲ ン	2018/10/17-18	添付資料 1-5A 1-5B
6	Hydrogen & Fuel Cells Energy Summit 2019  CALVERA 社	26 人のプレゼンターによるフォーラム。 低炭素で持続可能なソリューションの創 出から、新製品の市場参入の可能性、 燃料電池及び水素関連技術における 新しい市場の開拓までを行なう FCH JU や、2014 年から 2020 年にかけて約 800 億ユーロの資金を集め、これまでで 最大の EU 研究開発プログラムである Horizon 2020 の実証事業に関して各 国から紹介があった。フランス、 italia 、ドイツの FC 関連情報は得られなか った。	マドリード	2019/2/5-7	添付資料 1-6
7	台湾 (Asia Pacific Fuel Cell Technologies など 4 箇 所訪問)	定置用燃料電池の実証試験を行って いた。移動体として燃料電池スクータ の開発も進められており、地域特有な技 術情報を得ることができた、	台北	2019/3/5-7	添付資料 1-7

表 2 - 技術仕様調査 国際会議・展示会等の調査実績(2019 年度)

	調査対象	概要	場所	期間	参照報告書 番号
1	Hannover Messe 2019	エネルギー技術全般の展示があり、特に欧州の燃料電池ならびに水素関連ビジネスへの取り組みを見極めるのには豊富な情報を収集することができた。	ハノーバー	2019/4/1-5	添付資料 2-1A 2-1B
2	韓国 (建機用燃料電池の調査)	建機への燃料電池の活用は期待されている。現時点では韓国で最も積極的に取組まれており、特に掘削機への応用展開が進められている。今回は推進のキーパーソンにヒアリングし、市場規模や要求仕様についての情報を得ることが出来た。	ソウル	2019/4/17-18	添付資料 2-2
3	European Fuel Cell Forum	欧州燃料電池関連の主要企業及び研究機関が参加していた。発表内容は企業から学術発表までの広範囲であった。欧州では燃料電池関連の中心的な会議と位置づけられる。2019 年は PEFC にフォーカシングされていた。欧州のみならずグローバルな燃料電池の各種用途に関する情報を得ることができた。	ルツェルン	2019/7/2-5	添付資料 2-3
4	Intelligent Energy 社 Ceres Power 社	英国の燃料電池状況を調査のため、燃料電池メーカーから情報収集を行った。Intelligent Energy 社から PEFC の用途(ドローン)と市場性についての情報を、Ceres Power 社からメタルサポート平板形 SOFC に関する最新の開発状況に関する情報を入手した。	ラフボー サザンプトン	2019/7/8-9	添付資料 2-3
5	European Fuel Cell 2019	欧州における水素・燃料電池技術及び事業について幅広い情報とともに、特にイタリアにおける開発状況の情報を得ることが出来た	ナポリ	2019/12/9-11 (12/9-10 のみ参加)	添付資料 2-4
6	NedStack 社	水素タイプの定置用 PEFC 燃料電池スタックの製造メーカーであり、システムインテグレーションは共同開発であるが制御については自社開発をしている。今後のエネファーム用スタックの展開に資する情報を入手することが出来た。	アルンヘム(オランダ)	2019/12/13	添付資料 2-4
7	矢野特殊自動車	トレーラー等のメーカーであり、補助動力による空調、冷凍機能付きのト	国内	2019/4/15	添付資料 2-5A 2-5B

	調査対象	概要	場所	期間	参照報告書番号
		レーラ等も製造しており、当該市場の情報を得ることが出来た。			
8	日本鉄道技術総合研究所	JR グループの技術開発を行うグループ会社であり、以前から進めている燃料電池トレイン関連の情報を得ることが出来た。	国内	2019/5/24	添付資料 2-6
9	トヨタ自動車	FCV 以外の移動体(FC 船)に関する燃料電池の取組みについて情報を得ることができた。	国内	2019/6/20	添付資料 2-7

#### 4.2.2 環境への取組と規制動向等

主に環境先進国である欧州での環境への取組と規制の動向を目的として調査した国際会議や展示会の一覧とその概要、参照報告書番号を表 3 及び表 4 に示す。

表 3 - 技術仕様調査 環境への取組と規制の動向等の調査実績(2018 年度)

	調査対象	概要	場所	期間	参照報告書番号
1	Austrian Energy Agency	欧州での環境・エネルギー政策の調査・研究に関して多くの実績を有しており、特に家庭用の燃料電池システムに関する規制等に関する情報を得ることが出来た。燃料電池関連の注力を抽出する上では有力な情報調査候補であった。	ウィーン	2018/10/15	添付資料 3-1
2	French Alternative Energies and Atomic Energy Commission (CEA)	欧州での水素・燃料電池研究開発のキーパーソンと面談し、欧州での各種燃料電池研究開発の現状及び目標等についての情報を得た。	グルノーブル	2018/10/23	添付資料 3-2
3	IEA TCP AFC Annex33	定置用燃料電池に係わるグローバルな情報を入手できた。	アウグスブルク	2018/10/24-25	添付資料 3-3

表 4 - 技術仕様調査 環境への取組と規制の動向等の調査実績(2019 年度)

	調査対象	概要	場所	期間	参照報告書番号
1	IEA TCP AFC Annex33	前年度に引き続き、定置用燃料電池に係わる各種検討等についての情報を入手できた。	ナポリ	2019/12/11	添付資料 4-1
2	VerdeXchange(VX2020)	米国での山林火災による計画停電に備えたマイクログリッド等の検討状況や	ロサンゼルス	2020/1/27-28	添付資料 4-2

調査対象	概要	場所	期間	参照報告書 番号
SoCalGas (Southern California Gas)社	動向等について、米国現地の機関等からの情報収集を行った。			

#### 4.2.3 調査対象の有益性の評価

4.2.1 及び 4.2.2 における調査対象に対して、今後の活用を視野に、今回の調査の目的に鑑み調査対象の有益性の評価も行った。

表 5 に国際会議、展示会に関する各調査対象ごとの情報分野、主要議題、主催者及び登録費と開催頻度と有益性評価結果を示す。情報分野は、学術系か事業系の情報かどうかを 1 から 5 段階で評価した。2カ所に○が記載されているものは、学術系と事業系どちらの分野の情報も得られたことを示している。

今回の調査目的に鑑み、情報収集を実施した調査対象の内、以下の調査対象が特に有益であると考えられる。このためこれらの調査対象については、今後とも可能な限り情報収集を継続すべきであると判断した。なお、今回の調査では日程、予算等により検討できなかった調査対象も数多くあるため、今回の調査対象以外にも有益なものがあると考えられる。

- f-cell
- Hydrogen + FC North America
- Hydrogen & Fuel Cells Energy Summit
- Hannover Messe
- European Fuel Cell Forum
- Fuel Cell Seminar & Energy Exposition
- IEA TCP AFC Annex33
- European Fuel Cell

表 5 - 国際会議、展示会に関する各調査対象の有益性の評価

	調査対象	情報分野					主要議題	主催者	登録費	開催頻度
		学術寄り 1	2	3	4	事業寄り 5				
1	Third China International Hydrogen and Fuel Cell Conference & Exhibition(CHFCE)					○	2018年度は Heavy Duty Vehicles	CHFCE Organizing Committee	CNY 600 (約¥9,500)	不明
2	f-cell		○			○	水電解	イベント会社 (Stuttgart 市や州政府の協賛あり)	EUR 1,166 (約¥140,000)	毎年 9 月
3	Hydrogen+FC North America					○	水電解装置、スタック用プレス部品、	TOBIAS RENZ	USD 335 (約¥37,000)	毎年秋頃

	調査対象	情報分野					主要議題	主催者	登録費	開催頻度
		学術寄り 1	2	3	4	事業寄り 5				
							コーティング、補器類、圧縮等			
4	H2World				○		燃料電池と水素	H2World Organizing Committee	USD 135 (約¥15,000)	毎年秋頃
5	Power2Gas Conference		○				パワーto ガス 主に水素	XING Event GmbH	EUR 999 (約¥120,000)	毎年
6	IEA TCP AFC Annex33					○	定置用燃料電池	IEA TCP AFC	なし	毎年
7	Hydrogen & Fuel Cells Energy Summit		○		○		スタックメーカーの動向、ヨーロッパ各国の実証事業	ACI (Active Communications International)	GBP 1,525 (約¥220,000)	毎年
8	Hannover Messe 2019					○	燃料電池と水素	Deutsche Messe AG	EUR 70 (約¥8,500)	毎年
9	European Fuel Cell Forum		○		○		2019年度はPEFC 2020年度はSOFC	European Fuel Cell Forum AG	¥233,000	毎年
10	Fuel Cell Seminar & Energy Exposition		○		○		移動体用(大形車、FCフォーク)PE、水素製造(再エネ、原子力等)、水素パイプライン活用、水素の導管注入、等	The Fuel Cell and Hydrogen Energy Association (FCHEA)	USD 1,095 (約¥120,000)	2年毎
11	European Fuel Cell 2019 (EFC19)		○		○		欧州のローカル(イタリアなど)な燃料電池技術及び水電解	Atena scarl Distretto Alta Tecnologia Energia Ambiente	EUR 700 (約¥85,000)	2年毎

4.2.1 及び 4.2.2 における調査では、国際会議、展示会の他にも、研究機関や企業への個別訪問も行っている。これらの調査対象に関しても情報の有益性が高かったものは、今後も継続的又は不定期に情報を収集していく必要があるとの結論に至った。以下に今回の個別情報交換対象の内、今後継続的又は不定期に観測すべきと判断した調査対象の一覧を示す。

- Austrian Energy Agency
- French Alternative Energies and Atomic Energy Commission (CEA)
- Intelligent Energy 社
- Ceres Power 社
- Nedstack 社
- PlugPower 社
- Hydrogenics 社

### 4.3 環境性能調査

エネファーム及び純水素を燃料とする燃料電池システムに関する LCA 評価結果より、省エネ性を含む環境負荷低減の視点からは、ライフサイクルにおいて使用時の環境負荷が製造時や廃棄時に比して大きいことから使用時の環境負荷低減が有効である。これには総合効率の向上が効果的であるが、すでに最新機種では 97%に到達している機種もあり、これ以上の向上を図っても大きな改善は得られないことになる。

スタックの材料（PEFC では、特に白金、SOFC では Ni、Co 等）の資源枯渇性に大きい影響を持つ材料の低減が重要であることが明らかとなったが、更に制御装置の基板などが環境負荷に及ぼす影響が大きいことも確認された。

長期的な視野に立つと天然ガスを燃料とするシステムから水素を燃料とするシステムに移行することが環境負荷の低減からも望まれるが、水素の製造方法によって環境負荷の増加を生じることが本調査により示唆される。水素製造方法は各地域によって大きく異なるため、使用される水素の持つ環境負荷を十分に考慮すべきであるとの結論を得た。現時点では各種再生可能エネルギーの活用と高効率で環境負荷の小さい水電解システムの確立とを組み合わせることで環境負荷低減を達成する道筋が開かれると考えられる。

LCA 結果の詳細については添付資料 5 に示す。

エネファームのグローバル展開においては、特に市場規模が大きい欧州での展開において、LCA 評価結果に加え、4.2.2 に記載した Austrian Energy Agency 及び HyLAW プロジェクトの調査結果から欧州各地域での規制等について以下への留意が重要であることも判明した。

#### (1) 設置(グリッド及びガスグリッドへの接続)に対する課題

##### (i) 課題のない国

フィンランド、ノルウェー、ラトビア、スウェーデン、デンマーク、ドイツ、オランダ、ベルギー、フランス、スペイン

##### (ii) 一部課題となる事項のある国

###### ● イギリスでは、

ガス入力及び熱出力と電気出力の処理の複雑さがあり、設置を地方自治体に通知するために異なる有資格者を必要とする可能性があるなどとしている。

詳細は、HyLAW を参照のこと

###### ● イタリアでは、

燃料電池 コージェネレーションの設置要件は、建物に設置してガスグリッドに接続する他のコージェネレーションユニット(エンジンコージェネレーション,スターリングエンジンコージェネレーションなど)の設置要件と同じであるが、管理手順は非常に多く、完了するまでに長い時間が必要であるとしている。詳細は、HyLAW を参照のこととしている。

その他、オーストリア、ポーランド、ブルガリアやルーマニアについてもそれぞれの課題について記載している。詳細は、HyLAW を参照のこと

#### (2) 電気料金、助成視点からの課題

##### (i) コージェネレーション導入に有利な支援のある国

###### ● ドイツ

ドイツでは、KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) の「fuel cell grand」433 プログラムにより家庭用燃料電池システムへの助成金の提供が継続されている。

現在 Viessmann/Panasonic の燃料電池コージェネレーションシステムへの補助金は、1 台当たり 9,300 ユーロである。

また IEA AFC Annex33 会議(2018 年 10 月 24-25 日)で、ドイツでの燃料電池コージェネレーション導入促進の例として、Edgas Schwaben 社(アウグスブルクガスに拠点を置くガス会社)がミュンヘン近郊で全戸に家庭用燃料電池コージェネレーションを設置した開発の見学と紹介もあり、今後の普及が期待される。

HyLaw では、燃料電池コージェネレーションによる価格面でのメリットは、発電電力の購入価格を「通常価格」、コージェネレーション法に基づく追加料金及び分散形発電としての電力線に対する寄与による価格に分けて記載している。詳細は、HyLAW を参照のこと。

- ベルギー

フランドル政府からのコージェネレーションコージェネレーション証明書は、燃料電池コージェネレーションコージェネレーションに固有ではなく、すべてのコージェネレーションコージェネレーションタイプに存在する(1 つの証明書の値は約 30 €/MWh)。またバイオコージェネレーションコージェネレーションの場合、コージェネレーション証明書は、生成されたグリーン電力のグリーン電力証明書と組み合わせることができる。またグリーン電力証書は、10kW を超える設置に対してのみ発行され、ネットワークオペレーターは、グリーン証明書を購入する義務がある。しかし現時点では、燃料電池コージェネレーションの設置が Warm Home 割引制度の一部でなければ CAPEX サポートが適用されないとしている。詳細は、HyLAW を参照のこと。

- (ii) 導入に課題がある国

イギリス、フランス、スペイン、イタリア、オランダ、デンマーク、ノルウェイ、スウェーデン、フィンランド、ラトビア、ポーランド、ルーマニアは、それぞれ導入への課題があると総括されている。詳細は、HyLAW を参照。

### (3) 酸性雨問題

1970 年代の中頃から、旧西ドイツの代表的な森林地帯である「黒い森」をはじめ、マツやモミなどの樹木の立ち枯れが各所で観察されるようになった。チェコでも国境の山岳地帯で針葉樹が大規模に枯れたことは有名であるが、この他にも 1990 年代、「黒い三角地帯」で知られているチェコ西北部、ポーランド南部、旧東ドイツ東部の山岳地帯さらには欧州の歴史的遺産である建造物に対しても、酸性雨が影響を与えています。ロンドンのウェストミンスター寺院やドイツのケルン大聖堂にも被害が及んだ。このように欧州は、酸性雨の原因となる SO<sub>x</sub> や NO<sub>x</sub> の排出には敏感であり、今回の調査においても船舶のゼロエミッション化(脱ディーゼルエンジン 燃料電池の活用等)への取組みの真剣さからもそのことが伺える。

このように、欧州では地球温暖化ガスの削減効果のみならず酸性雨の低減効果を主張できることが重要である。今回の調査において、中国の燃料電池シフトの背景にも、地球温暖化ガスの削減のみならず、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> を含む大気汚染物質の低減が大きい影響を及ぼしていることが明らかになっている。欧州の一部地域(チェコ、ポーランドなど)で特に強く求められる酸性雨の低減のためには、素材にメスを入れることも必要であると考えられる。

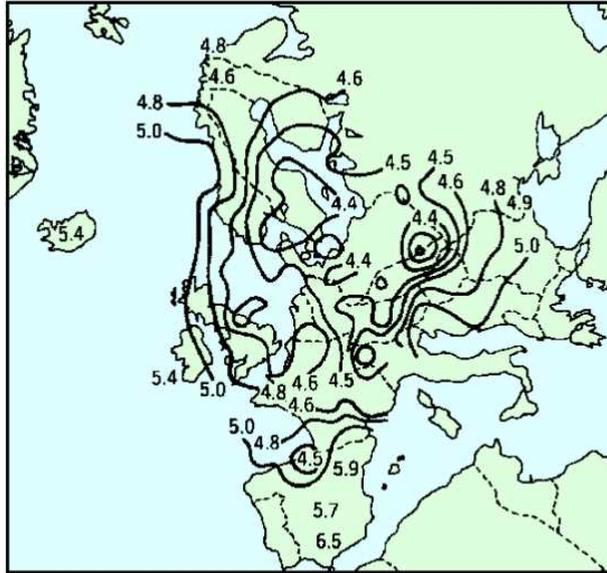


図 2 - 欧州における酸性雨影響リスク

出典: 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構  
原子力百科事典  
<https://atomica.jaea.go.jp/data/pict/01/01080122/03.gif>

#### 4.4 分析及びグローバルプラットフォームの明確化

##### 4.4.1 調査結果の分析・整理

調査対象ごとに得られた情報を用途分野ごとに整理し、エネファームの基幹部品の応用展開の可能性を検討した。エネファームの基幹部品として検討したのは、スタック及び燃料改質器である。それぞれについて以下に提言を示す。

##### (1) スタック

スタックには、PEFCとSOFCの両方の技術がある。PEFCの場合にはスタッキング枚数の変更は性能及び量産性への影響が少ない。以上の点から、PEFCスタックは、対応出力範囲は700W前後に限定せずに適用性を検討した。

一方SOFCの場合には日本で量産化されているエネファームは、円筒平板形であり、高出力化にはやや不利な設計となっている。

さらに、定置用以外の用途は移動体と可搬形が多く、起動停止などの機動性の要求に応えることは難しいと判断されるため、SOFCスタックは、定置用分野にフォーカシングするのが良いと結論した。

##### (2) 燃料改質器

PEFC形エネファームの燃料改質器は、今回の調査を通して圧倒的な強み技術と考えて間違いはない。根拠となるのは、欧米の燃料改質器を有する燃料電池システムの信頼性の確保が不十分な大きい原因が燃料改質器にあることが関連企業との打合せの中から浮き彫りになったことである。

燃料改質器の用途展開を考える上で大きい障壁となるのは、エネファームの燃料改質器は、一体形で外部からの温度制御を行わず出力変動に対応できており、エネファームの燃料改質器の基本設計は電気出力700Wクラスで最適化されているため、スケールアップのためには設計から開発しなければならない、容易に出力の変更ができない。

以上の点から、PEFC形エネファームの燃料改質器は、現在の定置用エネファームや類似の用途への活用により、システムの特徴付けの武器とすべきであると結論付けた。

本調査では特にスタックについて、各用途ごとに応用展開の可能性を検討すべく以下の項目の観点から情報収集を行なった。整理した結果については4.4.2にて示す。

##### (1) グローバル市場

戦略的な用途展開のために不可欠な情報であり、将来予測も含め可能な限り情報を収集

##### (2) 出力

エネファーム用スタックが適用可能かを判断するための各用途の要求出力は不可欠な情報

- (3) 冷却方式  
エネファーム用スタックは液冷（水冷）方式であり、現デザインを使用する上では、冷却方式に対する情報収集は不可欠
- (4) 燃料（改質ガス対応、水素対応）  
エネファーム用スタックは改質ガスに対応しているが、水素タイプのスタックが要求される用途も多く、各用途でいずれのスタックが要望されるかについての情報は重要。
- (5) 起動停止  
エネファーム用スタックは、PEFC と SOFC があるが SOFC は頻繁な起動停止が困難であるため、各用途の起動停止性能への要求を明らかにすることは重要
- (6) 寿命  
エネファーム用スタックは長寿命であるが、各用途で要求される寿命の情報は重要
- (7) コンパクトネス  
各用途で要求されるサイズは適用の可能性の判断の重要なファクター

なお、エネファームのスタック以外にも燃料電池車（FCV、国内で市販されている乗用車タイプの FCV を想定）のスタックについても用途展開の可能性を検討した。

#### 4.4.2 燃料電池技術のグローバルな要求仕様の明確化

各用途の市場、出力、グローバルな要求特性、エネファーム及び FCV のスタックの適合性の評価結果について以下に示す。なお、これらの適合性の評価についてまとめたものを表 7 及び 8 に示す。

##### (1) 家庭用燃料電池

- (i) 市場  
欧州を中心に市場規模は大きい。またカリフォルニアなどでは火災や地震時の非常用電源や、電力の安定供給のために小形分散電源としてエネファームをリモート制御しようとの構想も確認されておりさらなる市場拡大への期待もある。
- (ii) 出力  
発電出力は、家庭での電力需要及び逆潮への制限のありなしによって最適な範囲が想定されるが、欧州においては 1kW 前後、北米においては 1.5kW 以上が要求されると考えられる。中国、韓国などは、日本国内と同程度の出力と判断される。よって要求される出力は 10kW 未満と判断する。
- (iii) 要求特性  
いずれの国においても屋内設置が基本であり、特に韓国ではアパートメントのベランダ（屋内）への設置が基本になると考えられる。  
ビジネス的には、地域によって設置業者や配管業者、販売業者などの構成や仕組みが異なるため、地域のメーカーとの協業が欠かせない。  
現状の機器の安全認証においては、日本の認証要件とは異なる各地域特有の要件があり、それに適合するために多くの設計変更、開発費用が必要である。
- (iv) エネファームのスタックの適合性現在の市場規模を考慮すると、エネファームのスタックは家庭用燃料電池システムとしてグローバルに展開することが最優先であると考えられる。  
現時点で、10 年間のほぼノーメンテナンスでの使用に耐えうるシステム（脱硫器や改質器も含む）は、日本製のエネファーム以外に海外メーカーのものは見いだすことができなかった。  
市場規模とニーズから考えて、欧州がまずのターゲットである。韓国や中国も市場は魅力的であるが未知数である。北米では、エネファームよりも発電容量の大きなシステムが求められると考えられる。

##### (2) 業務用/産業用燃料電池

- (i) 市場  
現在の市場規模は大きくないが、店舗や事業所の環境対策で一定程度の市場形成が予測される。例えば、給湯需要の多いレストラン、小規模店舗、学校物件では、電力需要ピークカットや環境対策を目的として、ある一定のニーズや市場が見込まれる。
- (ii) 出力  
10~100kW 程度である。
- (iii) 要求特性  
屋内設置だけでなく、屋外設置など様々な設置環境への対応が要求されると予測される。ビジネス的には、地域によって設置業者や配管業者、販売業者などの構成や仕組みが異なるため、地域の企業との協業が欠かせない。  
今後、遠隔操作や VPP への対応のニーズが高まると考えられる。
- (iv) エネファームのスタックの適合性  
業務用/産業用燃料電池は、起動時間、性能、寿命等の技術面で、エネファームスタックは十分適用可能である。ただし、0.4~0.7kW と出力の小さいエネファーム用スタックの基本設計を変更せず 10~100kW 出力の業務燃料電池システムに適用する場合、スタックを複数接続して使用する事が想定される。その際、例えば、スタックへの燃料ガス分配技術等、システム技術開発が必要と思われるため、この点に問題がなければエネファームのスタックは基本設計を変更することなく適合できると考えられる。また、改質ガス対応の場合には、改質器のスケールアップ設計も必要となる。
- (v) FCV スタックの適合性  
FCV スタックの改質ガスへの適用は難しいと思われる。水素ガスを燃料とする燃料電池システムへの適合性については、要求される耐久性の向上が運転条件の変更などによって可能であれば、FCV スタックは基本設計を変更せず適合すると考えられる。

### (3) 非常電源用燃料電池(小形)

- (i) 市場  
非常電源用燃料電池の情報は、主に北米非常電源のマーケットシェアの 80%以上を占有する PlugPower 社からによる。携帯基地局向けの電源として、北米では AT&T、PG&E、Sprint 等向けに約 5,000 台が導入されている。  
燃料電池を導入する主な利点は蓄電池と比較して、バックアップ時間が長く、水素ボンベ等水素源を交換することにより、長期的な電気供給が可能なことである。また、蓄電池は寿命により、4~5 年毎に交換する必要があるため、燃料電池よりも、維持費が掛かる。米国の市場から判断して、国内市場用としては、交通信号用に大きいポテンシャルがあると考えられる。また、携帯基地局用の 24~72 時間対応が可能で非常電源も大きな市場がある。
- (ii) 出力  
携帯基地局向けの電源としては、2.5 ~10kW が主流である。  
交通信号(道路、鉄道)向けの電源としては、200 ~600W が主流である。
- (iii) 要求特性  
非常電源として、停電時に短時間で起動することが要求される。  
冷却方式は空冷式が主流である。しかし、エネファームのスタック(水冷式)の冷却は閉回路であり、モノジェネであれば水道管をつなぐ必要は無く、非常電源への応用が可能である。  
市販されている水素は、47~50L の高圧ガスボンベに 14.7~19MPa の圧力で供給されているので、国内で使用する問題点としては、日本の高圧ガス保安等対応にある。低圧(1MPa 未満)の経済的な水素源があれば、国内での普及はさらに進むと思われる。長期にわたる放置期間の後、有事の際に確実に起動、発電できる品質確保や不使用時にも定期的なメンテナンスが必要となる。
- (iv) エネファームのスタックの適合性  
小形非常電源は、出力特性は 10kW 未満であるため、エネファームのスタック(PEFC と SOFC)は基本設計を変更することなく適合すると考えられる。非常電源には一般的に急速起動性が求められるため SOFC スタックは不利であり PEFC スタックの場合と比べ大形のバッテリーの使用が必要となると考えられる。しかし非常電源は、用途によって起動性への要求レベルが異なるため、用途により SOFC スタックの適合性を判断する必要があると考えられる。

- (v) **FCV スタックの適合性**  
水素を燃料とする場合には **FCV スタック**は基本設計を変更することなく適合すると考えられる。

#### (4) 船舶

##### (i) 市場

IMO(国際海事機関)長期戦略として、2030年 燃費効率を2008年比40%改善、2100年温室効果ガス排出ゼロを目標としている。このような長期戦略を背景に、各国でエンジン船の航行を禁止する動きが始まり、燃料電池に対する期待が高まっている。

- オランダ:アムステルダム運河 2025年
- ノルウェー:フィヨルド周辺海域 2026年
- 北米:多くの湖にてエンジン使用禁止条例施行済

日本市場において燃料電池が導入される船舶分野の市場ポテンシャルとして、主に旅客目的で登録されている船舶数をトン数別に以下に集計した。すべての船舶の出力を合計すると、1.3 GW 程度となる。

※出展:鉄道と船舶における燃料電池利用に関する調査研究報告書(2018年2月21日 一般財団法人 運輸総合研究所)

表 6 - 旅客目的で登録されている船舶数

総トン数	数(隻)
2.5~5 トン	1,193
5~10 トン	437
10~15 トン	533
15~20 トン	766
20~ トン	185
計	3,114

##### (ii) 出力

船舶の場合は、自転車や鉄道と異なり水の抵抗が大きいため、2 倍の速力を得るためには推力を 8 倍(2 の 3 乗)にする必要がある。

このため、速力の高い船の動力を燃料電池で置き換える場合、大出力の蓄電池・燃料電池を積む必要があり、コスト増や搭載スペースの問題が発生する。このため、導入初期の燃料電池船としては低速・低出力(100~400kW)の船舶が有望である。上記の日本国内の旅客目的で登録されている船舶のうち、低速・低出力船(100~400kW)は、合計約 1,700 隻である。

##### (iii) 要求特性

耐久寿命は 10 年以上である。

定格出力で運転されることが多く、急峻な負荷変動は少ない。

起動・停止は比較的少なく、大形船になるほど起動・停止回数は少なくなる。また、船特有の環境として塩水(塩分)、温度、湿度の影響を考慮する必要がある。

##### (iv) エネファームのスタックの適合性

船舶用の出力は大出力(30~MW 級)のものが必要であるが、スタックの複数接続技術を活用することができればエネファームのスタックの基本設計を変更することなく適合すると考えられる。また船舶の場合搭載スペースは比較的確保できるため、コンパクトネスの問題はないと考えられる。SOFC スタックは起動時間の点では不利であるが、要求される起動時間は使用方法にも依存するためこの点も考慮して適合性を判断すべきであると考えられる。考えられる。

##### (v) FCV スタックの適合性

導入初期の船舶用として、近郊の数 km 程度のみの短距離の移動を燃料電池を用い、外洋航海はディーゼルを用いるというものを想定しているものも多い。このような用途であれば、FCV スタックは基本設計を変更せず適合すると考えられる。寿命も長時間は不要である。

## (5) 産業車両用(フォークリフト)

### (i) 市場

フォークリフト市場は、2019年グローバル市場で150万台/年である。

普及期(～2025)において燃料電池化されるのは、そのうち5%程度と想定され7～8万台/年である。一方フォークリフト以外の産業車両は、さらに台数は限定的であり、例えば空港等で貨物・荷物を牽引するトーイングのグローバル市場は8,000台/年である。

### (ii) 出力

電動フォークリフトは、用途に応じ以下の3種類に分類される。これはIndustrial truck association (ITA)でグローバルに定められた分類である。

- Class 1 (荷の上げ下げがあり座って乗るフォークリフト): 定格6～15kW

- Class 2 (荷の上げ下げがあり立って乗るフォークリフト): 定格6～8kW

- Class 3 (荷の水平搬送を主とするフォークリフト): 定格3～4kW

電動化が進む欧州、北米ではClass 3が主流であり、北米で燃料電池化されている3万台のフォークリフトのうち約8割程度がClass 3と想定される。また、Class 3は定格出力が小さいため空冷燃料電池セルを使ったシステムとなっている。

一方エンジンフォークリフト(Class 4, 5レベルのもの)は、エンジン出力45kW程度が主流であるため、将来的には45kW程度まで進むものと想定される。一方、港湾等で使用される大形の産業車両は、200kW程度のものがあり、数量は少ないものの今後燃料電池化されていく可能性はある。

### (iii) 要求特性

産業車両は長時間使われるものが多く、稼働時間としては燃料電池車と定置用燃料電池の中間程度(20,000時間程度)となる。

求められる寿命としては約10年以上である。

フォークリフトはサスペンションがないことから、路面から大きな衝撃入力を受けたり、荷物をフォークで取る際に衝撃入力を受けることがある。一方燃料電池化に際しては、既に電動化されている車両を用いることが多いため、電池置き換えタイプの燃料電池ユニットが求められることが多い。その場合は、電池搭載スペースに燃料電池ユニットをコンパクトに搭載することが求められる。起動・停止は比較的多く、フォークリフト等は、1日に数十回起動停止することもある。

屋外で使用される産業車両も多く、氷点下起動が求められる。

### (iv) エネファームのスタックの適合性

産業車両用途の中でも出力5kW以上のものには、小形化のため水冷FCセルが使用されることが一般的であり、サイズのニーズを満たせば、エネファームスタックは基本設計に変更を加えることなく適合すると考えられる。一方、荷物の水平移動を主とするフォークリフトClass3(定格3～4kW)は、低コストのためシステムが簡便な空冷FCセルを使用することが一般的であり、エネファームスタックの適合は難しいと考えられる。

### (v) FCVスタックの適合性

エネファームスタック同様、出力5kW以上のものについては、FCVスタックは基本設計の変更なしに適合すると考えられる。また、エネファームスタックと比較すると、出力が大きくなるほど小形化で優位になる傾向がある。

## (6) ドローン

### (i) 市場

市場規模は以下に示したように情報ソースによって大きく異なるが、総じて今後市場拡大が期待できるものであり、市場規模は大きいと結論する。

- Markets and Markets, Feb 2018: 2025年までに5230億ドルに達する

- Research and Markets, Feb 2018: 2025年までに518億5000ドル

- Tractica, Feb 2019: 2025年の商用ドローン収入1260億ドル

- BIS Research, June 2019: 2018年の市場規模は、256億ドル

### (ii) 出力

出力規模500Wクラスの小形から20kWクラス程度までと出力は広範囲であるが、1kW前後のものが多い。

- (iii) 要求特性  
レンジエクステンダーほどのコンパクトネスは要求されないが、水素タンクも含めたサイズの小形化は不可欠である。  
また、冷却方式に関しては、本分野で活発に活動している **Intelligent Energy** 社は、メタルセパレーターの空冷タイプのスタックを使用しており、本分野への展開には最適な構成であると考えられる。
- (iv) エネファームのスタックの適合性  
エネファームのスタックは、出力範囲、寿命は適合可能であるが、起動時間及び起動停止性能で **SOFC** スタックの適合は困難であると考えられる。冷却方式も通常は空冷がメインであり、空冷タイプの **PEFC** スタックが適しているが、高性能なラジエターを使用することなどによってサイズの要求を満たせば、エネファームの **PEFC** スタックは基本設計を変更することなく適合すると考えられる。
- (v) **FCV** スタックの適合性  
小形・軽量が求められるため、低圧損(コンプレッサーレス)スタックや空冷スタック、可搬の高密度水素供給技術などの開発が必要である。また、ファン等の一部の部品はそのまま適用できる。

## (7) 建機

- (i) 市場  
市場規模は大きく、グローバルには約 20 兆円である、韓国内のみでも 1.2 兆円規模であり、建機のうち、韓国が燃料電池化を進めている掘削機用に限定すると約 5,000 億円規模となる。
- (ii) 出力  
建機用燃料電池システムの出力範囲は数 kW から 100kW と幅広い。掘削機の場合に限ると、ボリュームゾーンは、数 10kW 辺りである。
- (iii) 要求特性  
建設機械は過酷な環境の中で長く使われることが多く、使用時間は数万時間と言われる。また、狭い工事現場等で使用される建機には、小形システムが求められる。一方、発電に空気が必要な燃料電池システムにとって、使用雰囲気中に含まれる土砂や建築材の粉塵は、燃料電池セルの劣化を引き起こす原因になる可能性があるため、有害成分の除去が大きな課題となる。また、大きな振動が入ることも建機の特徴であり、燃料電池システムには耐振動性が求められる。
- (iv) エネファームのスタックの適合性  
エネファーム **PEFC** スタックは、出力が 10kW 程度の小形の建機には要求サイズを満足すれば適合すると考えられる。ただし小形建機の市場規模は小さいことを考慮すべきであろう。**SOFC** スタックは起動時間の面から適合が困難であると考えられる。
- (v) **FCV** スタックの適合性  
**FCV** 用のスタックは高出力密度を達成しており、小形システムの構築が可能である点で有利である。また、数 10kW から 100kW の出力範囲は **FCV** と重なる領域である。また要求される寿命はフォークリフトと同等レベルであるため **FCV** 用スタックは基本設計を変更することなくできると考えられる。一方、建機は **FCV** 以上に過酷な環境(振動、粉じん)で使用することが想定されるためフィルター等の追加等の対応が求められるであろうであろう。

## (8) レンジエクステンダー

- (i) 市場  
現在レンジエクステンダー方式を採用した **FCV** はバッテリーEV からのコンバージョンなど、まだ少数であるが、内燃機関ハイブリッド自動車に同方式を採用する例が増加している状況、中国の電動バスがバッテリーEV から **FC** レンジエクステンダーへ移行しているなどの状況を踏まえ、将来的な市場規模は大きいと考えられる。
- (ii) 出力  
要求される出力(**passenger car**)は車格によって変わるが、主にフランスの **Symbio** 社からのヒアリングで得られた情報をベースにすると、主に 5kW クラスから数 10kW クラスで、ボリュームゾーンは 20~40kW クラスである。

Symbio 社は、ルノーのカングーのレンジエクステンダーに当初 5kW 程度の小形の燃料電池スタックを想定していたようだが、実走行試験を行った結果、5kW 程度の出力では、平坦な道路を加速しないような走行しかできないことが明確となり、高出力化が必要であると結論付けたようである。

(iii) 要求特性

(ii)より要求される出力は、数 10~40kW クラスであると考えられる。

運転モード的には、FCV のような大きい出力変動をさせず、定格出力での運転で対応が可能な場合もある。

レンジエクステンダーに燃料電池を使用する場合には、バッテリーとのハイブリッドであることに追加して水素タンクの設置スペースが必要となるため、かなりのコンパクトネスが要求される。

(iv) エネファームのスタックの適合性

(iii)より、定格出力での運転でも対応が可能なため、この点に関しては適用の可能性はあると考えられる。FCV のような急速な負荷変動に対応する運転モードとは異なることもエネファームのスタックの適用には有利であろう。ただし頻繁な起動停止が求められるため SOFC スタックの適合は困難であると考えられる。

また、エネファームの PEFC スタックは、カーボンセパレーターを使用していることと長寿命化を優先した運転モードで設計されているため、基本的に FCV 用途の燃料電池スタックに比べてサイズが大きいため、要求サイズを満足するかの判断が重要であると考えられる。

(v) FCV スタックの適合性

スタックの使われ方として従来の FCV と大きな違いがないため、流用可能なコンポーネントも多く、FCV スタックは基本設計の変更なしに適合すると考えられる。

(9) APU(冷蔵・冷凍コンテナ)

(i) 市場

Auxiliary Power Unit(APU)には大形トラックの居室用や油圧発生器用など多様な用途が検討されているが、ここでは冷蔵・冷凍コンテナ用に限定して記述する。

冷蔵・冷凍コンテナの日本及び世界市場規模(市場保有台数)は、日本 200 台程度、全世界 15 万台程度である。

現状の冷蔵・冷凍コンテナは、外部から電源供給を受けることが前提で、コンテナに発電機を搭載しているものはほとんどない。そのため、トレーラ運搬時に冷蔵・冷凍機能を使用するためには、発電機付きトレーラーを使用しなければいけないことが、現状の課題である。

そのため市場規模は小さいと考えられるが、海外では船から荷下ろし後、電源が繋がれずに数時間放置されることもあるため、FC が冷蔵・冷凍コンテナ搭載されると積荷の品質が保証され、メリットになる可能性がある。

(ii) 出力

主なコンテナに付属している冷蔵・冷凍機器の能力を記載する

消費電力:9 kW(定格)

電源:3 相 AC400 V(50 HZ/60 HZ)

冷凍能力:7 kW(庫内 0°C、屋外 38°C)、12 kW(庫内-18°C、屋外 38°C)

加温能力:5.6 kW

(iii) 要求特性

(ii)より要求される出力は 10kW 以下といえる。

また耐久寿命は 10 年。ただし、一般的には中古市場で 10 年物売り出し、そこから 20 年程度使われることが多い。また、外気温に対する要求は温度範囲が広く、-30~50°Cに対応することが求められる。

(iv) エネファームのスタックの適合性

PEFC スタックの場合は、出力、起動時間、寿命などの面では基本設計を変更せず適合すると考えられる。ただしコンテナに搭載できるコンパクトネスが必要であるため、サイズ要件を満たすことが重要である。。SOFC の場合は起動時間、起動停止回数面で適合は困難と考えられる。

(v) FCV スタックの適合性

FCV 用スタックは高出力密度を達成しており、基本設計を変更せず搭載性に優れた小形システ

ムに適合すると考えられる。一方で 10kW 程度のサイズは既存の FCV 用スタックに比べて小さく、周辺システム等の再構築が必要である。

## (10) Heavy Duty(トレイン)

### (i) 市場

大形の移動体 (Heavy Duty) にはトラックやバスなどの種類があるが、ここではトレインに限定して記述する。

列車の FC 化で先行する欧州には、燃料電池に置き換え可能な列車新車市場が年間 1,800 両程度あり、2030 年までには、そのうち 10%程度が燃料電池に置き換わる可能性があると言われている。

一方、日本の保有列車台数のうち燃料電池に置き換え可能な台数は 3,492 両※(機関車 200 両、気動車 2,701 両、LRT/路面電車 772 両)。内燃動車の法的耐用年数が 11 年であることから、仮に 11 年毎に新車に置き換わると仮定すると、日本で燃料電池に置き換え可能な列車新車市場は年間 317 両程度となる。

※出展: 鉄道と船舶における燃料電池利用に関する調査研究報告書(2018 年 2 月 21 日 一般財団法人 運輸総合研究所)

### (ii) 出力

Hydrogenics 社からの情報によると Alstom Transport 向け燃料電池は 50kW を 4 台合わせて、200kW の FC を利用している。

### (iii) 要求特性

出力は、200kW 前後である。

列車の航続距離は約 800km (水素をタンクに満充填した場合) である。

寿命は 4 年程度必要である。

サイズは既存の車両のエンジンの置き換えを想定し、同等程度のサイズにする必要がある。

### (iv) エネファームのスタックの適合性

トレイン用の出力は、200kW 前後が必要であるため、スタックの複数接続技術は必要不可欠であるが、エネファームのスタックの基本設計を変更せずに適用するためにはサイズへの要求を満足することが課題であると考えられる。サイズ要求を満足できれば適合は可能であると考えられる。トレイン車両に搭載できるような小形ラジエーターの開発も必要である。起動時間、寿命などの面を考慮すると SOFC スタックの適用は困難であると考えられる。

### (v) FCV スタックの適合性

スタックの使われ方として要求寿命を除き従来の FCV に近い場合、運転条件の変更などにより長寿命化が達成できれば、スタックの基本設計を変更せずに適合すると考えられる。

## (11) 電動アシスト自転車(カーゴ ペデレクス)

### (i) 市場

e-コマースの進展(年率 7.2%)により、ラストワンマイル物流が課題となっている。

欧州では今後エンジン車乗り入れ禁止都市等が増えていくことが想定され、電動アシスト自転車の後ろにカーゴを取り付け、ラストワンマイル物流を担うことが検討されている。

通常バッテリーによるアシストでは、氷点下での使用や長時間使用に問題があり、燃料電池化が期待されている。

なお、まだ試作段階ではあるが、水素吸蔵合金、Li イオンバッテリーと共にパッケージ化した電動アシスト自転車用ユニット(70W)が Fraunhofer-Institut(独)から提案されている。

### (ii) 出力

バッテリー比 2 倍の航続距離(バッテリー:40km、燃料電池:80km)が目標。

荷室の大きさは 0.5~1.5m<sup>3</sup>、全体重量として 400kg 程度を想定し、燃料電池システムとしては電圧 36V、出力 0.75~1kW、エネルギー搭載量 5kWh が検討されている。

また出力が小さいことから、空冷 FC セルで検討が進んでいる

### (iii) 要求特性

FC は、電池に対し低温起動特性が期待されており、バッテリーよりも燃料電池の方が優れてい

る。-20°Cから起動可能とするためプリヒータシステムを搭載し、約3分での起動が目標。  
また軽量化が求められ、重量は1kg以下、重量密度~1g/Wが目標。

(iv) エネファームのスタックの適合性

PEFCのスタックは要求サイズを満たすことが出来れば、基本設計を変更することなく適合すると考えられる。空冷タイプが望まれるため、高性能ラジエターの開発が期待される。

SOFCのスタック要求される起動時間や起動停止回数を満足することは困難であると考えられる。

(v) FCVスタックの適合性

出力がかなり小さいことや、補機も含めたコンパクトネスも必要であるためFCVスタックの適合は困難であると考えられる。

(12) 可搬形燃料電池(小出力)

(i) 市場

小出力の可搬形燃料電池の用途としては非常用、屋内用、夜間工事の照明用等があげられる。可搬形燃料電池は、今のところ市場から強いニーズがなく、メーカー側が試作品等でニーズを模索している状況。可搬形エンジン発電機の代替等が想定される一方、可搬形バッテリーパックとの競合も想定される。

一般用エンジン発電機(10kVA以下)の市場は、国内で約250,000台/年(2018年)であり、今後さらなる拡大が期待できる。

(ii) 出力

10kW未満である。

(iii) 要求特性

冷却方式は空冷が用いられる。

小形(W+L+H=2m以内程度)・軽量(200kg未満)のユニットが求められる。

(iv) エネファームのスタックの適合性

通常空冷タイプのスタックが使用されているが、エネファームのPEFCスタックはサイズ要件を除いて基本設計を変更することなく適合すると考えられる。SOFCスタックは、起動時間の要求を満足することが困難であると考えられる。

(v) FCVスタックの適合性

小形・軽量が求められるため、エネファームと同様、低圧損(コンプレッサーレス)スタックや空冷スタック、可搬可能な高密度水素供給技術などの開発が必要。

(13) 可搬形燃料電池(大出力)

(i) 市場

大出力の可搬形燃料電池の用途としては、将来的には系統が連結される可能性があるが、それまでの工事期間などに電力供給するような仮設用タイプのもものが挙げられる。

一般用エンジン発電機(10kVA以上)の市場は、国内で約30,000台/年(2018年)であり、日本の場合、電気事業法の関係で常時監視等の監視、電気主任技術者の選任、保安規定の届出が必要となり、小出力と比較すると台数は少ない。また、用途が常用と非常用に別れ、常用の場合は、改質器を有する燃料電池はばい煙発生設備に該当する場合があるが、純水素を燃料とする燃料電池は現状では該当しない。緊急時の非常用発電機として、例えば、トラックの荷台に乗せるなどした移動形非常用発電機としての自治体や自衛隊、その他緊急対策局などへのニーズも一定程度あると考える。

(ii) 出力

10kW以上である。

(iii) 要求特性

移動可能であっても、大出力の可搬形燃料電池は、仮設定置用のような仕様となっており、要求特性は、定置用の非常用燃料電池と似ている。

(iv) エネファームスタックの適合性

出力の大形化に伴い燃料電池1台当たりのスタック数が多くなり、要求サイズを満足するためには基本設計の変更なしでの適合は困難であると考えられる。

- (v) FCV スタックの適合性  
適合すると考えられる。

表 7 - エネファームの基幹部品(スタック)の各市場への適合性の評価

用途別		適合性 評価項目	グローバル市場	定格出力	冷却方式	改質ガス対応	水素ガス対応	起動時間	起動停止回数	寿命	コンパクトネス	部品事業展開可能性
定置用	家庭用		大	○ <10kW	○	○	○	○	○	○	○	○
	業務用/ 産業用		中	△ 10-100kW	○	○	○	○	○	○	○	△
	非常用(小形)		大	○ <10kW	△ 通常空冷	○	○	PE:○ SO:△	PE:○ SO:○ <sup>1</sup>	○	○	PE:○ SO:△
	船舶		大	△ 30-MW 級	○	○	○	PE:○ SO:△	○	○	○	PE:○ SO:△
移動体用	産業車両(フォークリフト)		大	○/△ 3-200kW	○	-	○	PE:○ SO:×	PE:○ SO:×	○	△	PE:○ SO:×
	ドローン		大	○ 1kW 前後	△ 通常空冷	-	○	PE:○ SO:×	○	○	△	PE:○ SO:×
	建機		大	○/△ 数-100kW	○	-	○	PE:○ SO:×	○	○	△	PE:○ (小形) SO:×
	レンジエクステンダー		大	○/△ 10-40kW	○	-	○	PE:○ SO:×	PE:○ SO:×	○	△	PE:△ SO:×
	APU (冷凍コンテナ)		小	○ <10kW	○	-	○	PE:○ SO:×	PE:○ SO:×	○	△	PE:○ SO:×
	Heavy Duty (トレイン)		大	△ 200kW 前後	○	-	○	PE:○ SO:×	PE:○ SO:×	○	△	PE:△ SO:×
	電動アシスト 自転車		小	○ 0.1-2kW	△ 通常空冷	-	○	PE:○ SO:×	PE:○ SO:×	○	△	PE:△ SO:×

用途別		適合性 評価項目	グローバル市場	定格出力	冷却方式	改質ガス 対応	水素ガス 対応	起動時間	起動停止回数	寿命	コンパクトネス	部品事業展開可能性
可搬形	小出力 (10kW 未満)		大	○ <10kW	△ 通常空冷	△	○	PE:○ SO:×	2	○	△	PE:○ SO:×
	大出力 (10kW 以上)		中	△ 10kW~	○	○	○	PE:○ SO:×	2	○	×	×
			○:適合可能 △:開発課題はあるが適合可能 ×:適合困難 -:適用がない 注1:起動停止回数が少ない条件下で○ 注2:用途が多岐にわたり、一様に記載が出来ないため空欄									

表 8 - FCV の基幹部品 (スタック) の各市場への適合性の評価

用途別		適合性 評価項目	グローバル市場	定格出力	冷却方式	改質ガス に対応しているか	水素 対応	起動時間	起動停止回数	寿命	コンパクトネス	部品事業展開可能性
定置用	家庭用		大	○ <10kW	○	× 未対応	○	○	○	△ 耐久性難	○	△
	業務用/ 産業用		中	○ 10-100kW	○	× 未対応	○	○	○	△ 耐久性難	○	△
	非常用		大	○ <10kW	× 通常空冷	× 未対応	○	○	○	○	○	○
	船舶		大	○ 30-MW 級	○	-	○	○	○	○ <sup>1</sup>	○	○
移動体用	産業車両		大	○ 3-100kW	○	-	○	○	○	○	○	○
	ドローン		大	○ 1kW 前後	× 通常空冷	-	○	○	○	○	×	△
	建機		大	○ 数-100kW	○	-	○	○	○	○	○	○

用途別	適合性 評価項目	グローバル市場	定格出力	冷却方式	改質ガス に対応しているか	水素 対応	起動 時間	起動停止 回数	寿命	コンパクト ネス	部品事業 展開 可能性
	レンジエクステンダー	大	○ 10-40kW	○	—	○	○	○	○	○	○
	APU (冷凍コンテナ)	小	○ <10kW	○	—	○	○	○	○	○	○
	Heavy Duty (トレイン)	大	○ 200kW 前後	○	—	○	○	○	△ 耐久性 難	○	○
	電動アシスト 自転車	小	△r 0.1-2kW	× 通常空 冷	—	○	○	○	○	×	×
可搬形	小出力 (10kW 未満)	大	○ <10kW	× 通常空 冷	—	○	○	○	○	○	△
	大出力 (10kW 以上)	中	○ 10kW~	○	—	○	○	○	○	○	○
		○:適合可能 △:開発課題はあるが適合可能 ×:適合困難 —:適用がない 注1:短距離移動の条件下で○									

#### 4.4.3 燃料電池技術の海外展開の具体化

4.4.2 にてエネファームの基幹部品の適合性について明らかとした。本事業を通して明らかとなった開発課題について下記に示す。

各種用途に展開する上では、エネファームのスタックの基本構造を変更することなく使用するためには以下の開発が必要であると考ええる。

##### ① 水冷のためのラジエターの低コスト・小形・高効率化

各用途を見ると空冷タイプのスタックが適する用途が多く存在する。冷却方式と電気出力及びスタックサイズとの関係は、およそ以下の模式図によって表すことが出来る考える。エネファーム用スタックは水冷タイプであり、このような用途にはやや不利であると考えられる。水冷方式のスタックデザインを空冷方式に変更することは、セパレーターの構造等大幅な改良が要求されるため、量産化により低コスト化されているエネファーム用スタックの強みを生かすことが出来なくなる。このため、一般に空冷スタックが適する用途に、エネファームスタックを基本設計を変更せずに適合させるためには、低コスト・小形・高性能な放熱用ラジエターの開発が不可欠である。

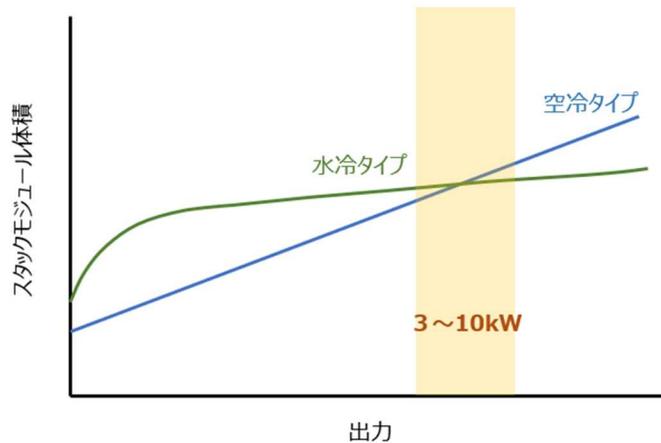


図 3 - 冷却方式と電気出力及びスタックサイズとの関係

② 連結接合技術

各用途の要求出力を見るとエネファーム用スタックの出力 700W では不足する用途が多い。

PEFC スタック及び SOFC スタックモジュールは、複数台連結することによって高出力化が可能ではあるが、連結台数が増加した場合には、燃料の均一な分配やユニットごとの制御が非常に重要となり、これらの技術開発が不可欠である。

③ PEFC スタック/セルの高温化技術

上記①、②に比して基本的・基礎的な開発が必要であるが、PEFC スタックの高温化技術の開発に期待する。PEFC スタックは、通常 80°C を超える温度での運転は困難であり冷却への負荷（ラジエターの大形化、高性能化によるサイズ・コストのアップ）が大きい。運転温度の高温化が可能となれば、このような負荷は大きく低減され用途展開が飛躍的に拡大する。

これらの開発課題の設定のためには、コスト及びサイズ目標も加味して行わねばならないが、これについては取組まれる企業の今後の検討に委ねたい。

## 5 結言

本事業では世界各地域の様々な情報を収集し、①当該地域で要求される技術仕様を明らかにすると共に、②ライフサイクルアセスメント(LCA)等の手法により燃料電池システムの各技術要素が影響を与える環境項目及びその影響度を明らかにした。③そしてこれらの結果を踏まえて、日本の燃料電池技術の海外展開を加速させるために必要な技術開発項目や目標を導き出し、今後取り組むべき研究開発の方向性を検討した。

技術仕様調査では国際会議や展示会での情報収集や欧州の燃料電池関連メーカーとの打合せを通して、世界各地域の燃料電池の用途別に要求される技術仕様に関する情報を収集することができた。

エネファーム及び水素仕様家庭用燃料電池システムの LCA を実施し、地球温暖化、資源枯渇、酸性雨等の複数の環境負荷項目を包括して環境影響評価を行い、それぞれの環境影響に対する燃料電池の各技術の影響度を明確にすることができた。

さらに日本の燃料電池技術のグローバル展開が可能な用途と目標性能を設定し、燃料電池スタックのプラットフォーム化と注力すべき技術開発課題を取りまとめることができた。

契約管理番号 18101192-0

## 添付資料

- 資料 1-1A 出張報告書(CHFCE2018)
- 資料 1-1B 出張報告書(CHFCE2018)
- 資料 1-2 出張報告書(f-cell)
- 資料 1-3 出張報告書(Hydrogen+FC North America 2018)
- 資料 1-4 出張報告書(H2World 2018)
- 資料 1-5A 出張報告書(Power2Gas Conference)
- 資料 1-5B 出張報告書(Power2Gas Conference)
- 資料 1-6 出張報告書(Hydrogen & Fuel Cells Energy Summit 2019 及び CALVERA 社)
- 資料 1-7 出張報告書(台湾)
- 資料 2-1A 出張報告書(Hannover Messe 2019)
- 資料 2-1B 出張報告書(Hannover Messe 2019)
- 資料 2-2 出張報告書(韓国)
- 資料 2-3 出張報告書(European Fuel Cell Forum、Intelligent Energy 社及び Ceres Power 社)
- 資料 2-4 出張報告書(European Fuel Cell 2019 及び NedStack 社)
- 資料 2-5A 出張報告書(矢野特殊自動車)
- 資料 2-5B 出張報告書(矢野特殊自動車)
- 資料 2-6 出張報告書(日本鉄道技術総合研究所)
- 資料 2-7 出張報告書(トヨタ自動車)
- 資料 3-1 出張報告書(Austrian Energy Agency)
- 資料 3-2 出張報告書(French Alternative Energies and Atomic Energy Commission)
- 資料 3-3 出張報告書(IEA TCP AFC Annex33 2018 年)
- 資料 4-1 出張報告書(IEA TCP AFC Annex33 2019 年)
- 資料 4-2 出張報告書(VerdeXchange)
- 資料 5-1 環境性能調査のレポート(2018 年)
- 資料 5-2 環境性能調査のレポート(2019 年)

添付資料1-1 A

2018 年度 海外出張報告書

報告書作成日 2018 年 8 月 21 日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	The Third China International Hydrogen and Fuel Cell Conference & Exhibition(CHFCE2018)での情報収集
4. 出張者	パナソニック
5. 出張先	China International Exhibition Center (北京)

6. 日程：

2018 年 7 月 25 日 (日) 大阪発、北京着  
2018 年 7 月 26(木)、27 日 (金) CHFCE2018  
2018 年 7 月 28 日 (土) 北京発、大阪着

7. 出張概要

**7.1 参加の背景**

NEDO 委託調査事業「燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査」  
として、燃料電池関連の世界の動向調査の一環として、中国での動向調査のため CHFCE2018 に参加

**7.2 参加の目的**

- (1) 国際会議  
中国および欧米からの発表により燃料電池関連の最新情報を調査する。
- (2) 展示会  
添付資料1-1Bより報告

**7.3 会議の概要**

中国での燃料電池開発は、移動体にフォーカシングされているようである。特にヘビーデューティな FC バスおよび FCトラックに集中されており、FCV については活発ではないようである。FCV については唯一長城汽車社(Great Wall Motors)から 2025 年に向けた高出力パッケンジャー-FCEV (SUV を含む) の公表に向けてた開発の途中であるとの情報提供があった。また定置用市場については、今回の会議でも取り上げられておらず低調である。発表、展示会ともに欧米からのものが多く、積極的なアプローチが感じられる一方日本からの参加はほとんどない状況であった。

### 7.3.1 国際会議での情報

#### (1) Canadian Hydrogen and Fuel Cell Association

Dr. Andreas Truckenbrodt

##### (i) FCトラックについて

南カリフォルニアでは、港での大気汚染が最も大きい課題

10,000 台の荷役運搬トラックが日に 3 ~ 5 トリップをおこなう

2030 年までに規制当局によりディーゼルの使用が禁止される

港は、早い燃料の充填を要求する

→FC が唯一の解である。(性能、レンジ、コスト視点で)

たとえば、港では、Yard Truck

道路では、Class 8 トラック

配送センターでは、Yard Truck

##### (ii) FC バスの市場ポテンシャル (現時点/~2020 年?)

中国 231/800

日本 0/100

欧州 58/162

アメリカ 25/35

南米 3/0

—BEV との比較—

- エネルギー効率は、Well to Tank + Tank to Wheel では、バッテリーが有利
- エネルギー消費が、1000kWh のトラック (たとえば TOYOTA FC トラック、Tesla Semi) の場合、電力貯蔵に BEV では約 5 トンのバッテリーが必要となるが、FCEV の場合 1,667kg であり。搭載荷物量で有利になる
- 充填時間についても、超急速充電 (Porsche Fastcharger) でも 40 分 (TESLA 急速充電では 500 分) かかるが、FC なら 25 分

#### (2) Chonnam national university (全南大) 韓国 広州

Byeong Soo 教授

##### (i) ヒュンダイの新しい FCV を紹介

最高出力 : 120kW

0-100km/h : 9.2 秒

最高速度 : 179km/h

電池出力 : 40kW

FC スタック出力 : 95kW

スタック密度 : 3.1kW/l

水素タンク圧力:70MPa (3本使用 タンク容量 52.2/1本)

充填速度:3~5分

(ii)研究内容の紹介

- ・光触媒による水素製造 ; 効率は低い 10%程度
- ・バイオマスからの水素製造 ; 効率は低い
- ・水素昇圧用コンプレッサー 45MPa (at45℃)
- ・高圧水素下での材料評価装置 140MPa トヨタからの assingment ありとのこと  
98MPa 下での金属材料評価

(3) フラウンホーファー

- ・2017年時点での、ドイツと中国のパッセンジャーカー市場の比較  
ドイツ 34万台に対して中国は 242万台  
1台あたりの電極 (MEA) 面積がおよそ 50m<sup>2</sup>と仮定して、大量の MEA が将来必要となる

(4) 長城汽車社(Great Wall Motors)

(i) 水素ステーション設置計画

(ii) FCEV の位置付け

新エネルギー車を、以下のように PHEV, BEV, FCEV 分類してそれぞれの位置付けを明確に述べている。

- ・PHEV ; 従来車と完全な EV 車までを繋ぐための排ガス低減車
- ・BEV ; 都市の短距離用としてポテンシャルを有する車
- ・FCEV ; 今日のガソリン車同様の走行距離と充填時間の、より多くの人を運ぶパッセンジャーカー

FCV については、まもなく公開するとしている

環境性は、BEV を超えると評価している (バッテリー製造時の CO<sub>2</sub> 排出が大きいため)

FCV プロトタイプ開発ポテンシャルを有する根拠として以下の R&D 項目の実施を紹介

- ・MEA,単セル
- ・水素タンク (Type4 を含む)
- ・水素貯蔵に使用する BOP(バルブ、制御弁)
- ・FCV 試作車  
FCV テスト
- ・MEA,スタック、コンプレッサーその他 BOP
- ・水素タンクテスト
- ・水素充填 (35MPa、50MPa、70MPa)

(iii) 結論

- ・長距離の FCEV は、2025 以降にコスト競争力を有することができる

- FCEV は、走行距離と充填速度で BEV をよりも快適である
- もしも低コスト充填基準と最適な水素ステーション設計の基礎が築かれれば、BEV の充電インフラよりも低コストになるであろう。
- Great Wall Motor は、2025 年に向けた高出力パワセリャー FCEV (SUV を含む) の公表に向けてた開発の途中である
- 開発は既に開始されている

#### (5) Hugreen Power 社

韓国のベンチャー企業

- ケミカルハイドライドを用いた水素生成器を開発
- 生成方法についての具体的な説明はなかった
- 今年度以降外部への発信を開始したようで、秋の FC エキスポ (大阪開催) および 2019 年春の FC エキスポ (東京) とハノーファーメッセに出展予定とのこと
- 標準仕様は設定しておらず、カスタム品で対応している
- このためアプリケーションについての情報は豊富ではなかった
- 一般的な水素出力は、  
1kW、500W、200W で現在は軍需用がメインのようである。
- 3,000 h までの連続水素生成は安定しているデータを報告していた。
- ボーイング社と 1kW 出力の水素発生器を共同開発中
- 90℃以上にならない設計となっている

以上

添付資料1-1 B

2018 年度 海外出張報告書

報告書作成日 2018 年 8 月 21 日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	The Third China International Hydrogen and Fuel Cell Conference & Exhibition(CHFCE2018)での情報収集
4. 出張者	アイシン精機株式会社
5. 出張先	China International Exhibition Center (北京)

6. 日程：

2018 年 7 月 25 日 (日) 中部国際空港発、北京着  
2018 年 7 月 26(木)、27 日 (金) CHFCE2018 訪問  
2018 年 7 月 28 日 (土) 北京発、羽田空港着

7. 出張概要

7.1 参加の背景

NEDO 委託調査事業である「燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査」の燃料電池関連の世界の動向調査の一環として、中国での今後の動向や現状の確認を目的として、CHFCE2018 に参加した。

7.2 参加の目的

(1) 国際会議での聴講

中国および欧米からの発表により燃料電池関連の最新情報を調査する。(添付資料1-1Aより報告)

(2) 展示会での情報収集

国際会議に併設されている展示会の出展者からの情報収集を行う。(本報告書にて報告)

7.3 出張を終えての感想

「中国の燃料電池の使われ方について」

中国では、電気自動車(BEV)ではなく純水素による燃料電池車(FCV)への移行開始を、2025 年をターゲットし準備を進めている。水素社会を実現するため水素インフラ(水素供給網、水素ステーション等)の整備に中国政府が投資する意向で、初期段階(2025 年ごろ)には、公共バスや倉庫用フォークリフトを FCV に置換するための補助金を準備し、公共バスでは 6000 台/年の置換するプロジェクト計画がある。(北京市環境室長からの情報)

又、展示場では、FCV 用の PEM スタック、水素タンク、水素発生装置の出展が数多く見られ、中国での燃料電池車の自立製造はもうそこまで来ていると感じた。さらには、上記の公共バスプロジェクト市場を獲得するため、数多くの欧州の部品メーカーが出展していた。

一方、SOFC に関連する事項は対称的であった。SOFC 関連の展示は 1 つも確認できなかったうえ、発表者や出展者との会話の中で、「CHP」、「Cogeneration」のキーワードが通用しなかった。今現時点での、(中国での)天然ガスを燃料とする「燃料電池コジェネ発電ユニット」は、認知が低い。このまま、(上記の水素供給網が実現され)純水素を燃料とし、かつ世界最高発電効率を売りにした「モノジェネ燃料電池」が中国では普及するか、或いは、日本と同じく、(扱い難しい水素から)燃料ガスへの揺り返しがくるのかは、静観の必要がある。

### 7.3.1 展示会での情報

#### (1)NOK FREUDENBERG 社

- 中国は、FC バスと FCトラック (ヘビーデューティー カー) に集中しており、定置用の動きはほとんどない。
- これらの開発は加速しており、FC バスは本年度 3000 台規模になる模様。
- 定置用としては、バックアップパワー用途はあるが、本展示会の担当者は、現在東京オフィスで仕事をしているとのことであり、追加のヒアリングは可能。

#### (2)Sunrise 社

中国のスタックメーカーの最大大手企業の 1 つであるが、ブースにはなにも (パンフレット等も含め) 展示しておらず、説明員もほとんど不在であった。

もう 1 つの大手スタックメーカーは、上海の企業であるとのこと (正確な名前が聞き取れなかった)。

#### (3)Elringklinger 社

スタックメーカー ;

展示物 : 50 セルスタック  
電気出力 10kW (2.5bara)  
水冷タイプ  
フォークリフト用

#### (4)Sinoma 社

水素タンクの製造メーカーで中国建材のグループ会社 ; FCバス用として、35MPa の Type3 水素タンク (長さ 3.398m) の開発を完了したところのこと。

#### (5)TIANHAI INDUSTRY 社

水素タンクの製造メーカー ;

- FC バスおよび FCトラック用には、35MPa のタンクを販売している。
- 4 タンク/FC バス。

- FCV 用は、70MPa のタンクを実証中。

#### **(6)Beijing China Tank Industry 社**

水素タンクの製造メーカー；

- 35KPa 水素タンクはすでに 3~4 年中国のメーカーに販売している。
- 70MPa 仕様の水素タンクも開発済とのこと。
- ドローン用の水素タンクを Doosan 社に販売しているとのこと。

#### **(7)SHENYANG ZHONGFU KEIJIN PRESSURE VESSELS 社**

水素タンク（70MPa,35MPa）の製造メーカー。

#### **(8)Element 社**

北米 IDATEC 社（2012 年に Ballard 社に買収されている）の創始者である Dr.Edlund によってこの春に上海に開設された。従来からメタノール改質器を開発しており、中国市場にはバイオメタノールを原料とする水素製造器を提案していた。

改質後 Pd 膜で高純度水素に精製；

- 用途は、北米ではテレコム用の市場が大きいとのこと。
- フォークリフト用も開発している。
- 中国では、FC バス、FC トラック用途への展開を考えているとのこと。
- メタノールを燃料とするメリットは、北米や台湾では天然ガス組成のばらつきが大きく改質に問題が出ることもあるが、バイオメタノールは純度が均一である。ドイツの天然ガスも均一ではないがそれほど悪くはないとのこと。

#### **(8)AREVA H2Gen 社**

PEFC 水電解装置の製造メーカー；

- Capacity: 5~200Nm<sup>3</sup>/h
- Charge power: 50kW-1MW
- Active surface: 600cm<sup>2</sup>
- Power value : 3,54kWh/Nm<sup>3</sup> 83% HHV/ 70% LHV
- Energy Efficiency: 4.26kWh/Nm<sup>3</sup>
- コスト: 3,5 ユーロ/kg@8000h/y の生産で

#### **(9)Jiangsu Ice-city Hydrogen Energy Technology 社/BCH 社**

PEFC スタック製造メーカー；

- 2014 年設立。
- 中国製品を使用した PEFC スタックモジュールを製造している。

- 2008 年より開発してきたが、2014 年に BCH として活動している。
- 現在従業員は、～ 5 0 名としている。
- 寿命は、2000h と述べている。
- 標記社名と BCH との関係がよくわからないが、パンフレットは BCH となっている。
- 空冷タイプの PEFC スタックの製造。
- 出力は、200W、500W、1000W、1500W および 2000W を標準としているが、注文に応じて製造しているとのことである。
- 市場ニーズとしては、ドローンなどもあるとのことであるが要求性能はカスタマーごとに異なるとの回答のみ。

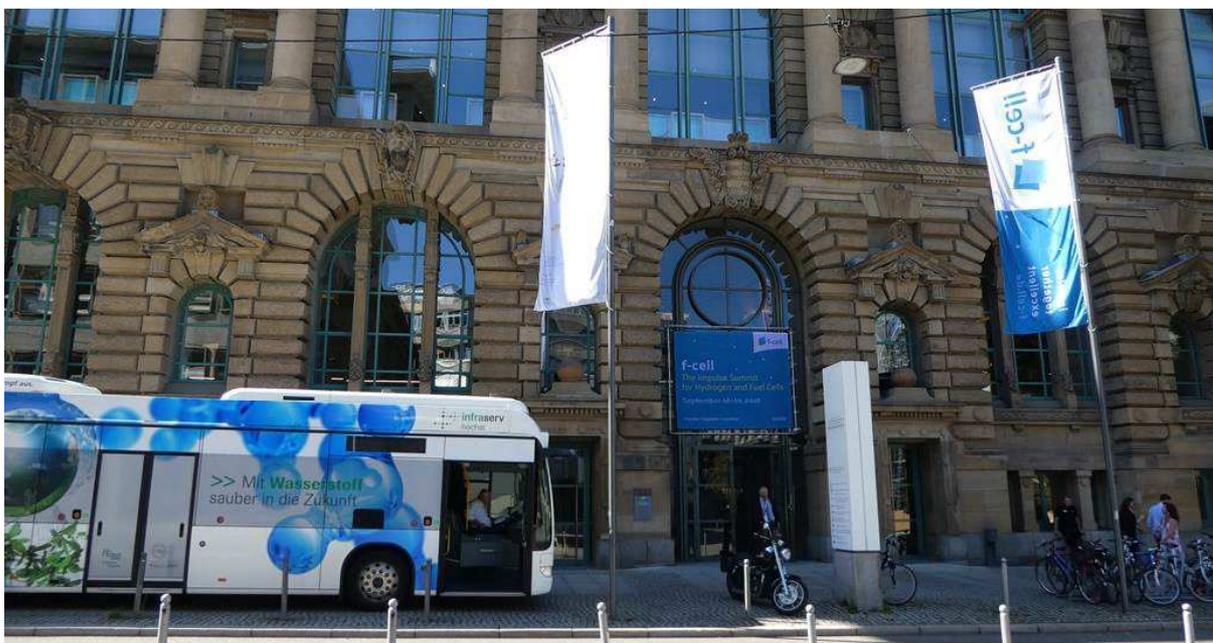
#### **(10)Intertek China 社**

中国の安全認証機関 ; Intertek China からの情報では、家庭用・業務用問わず、燃料電池コジェネの安全規格はまだ調査段階で、施行される時期は 1 年半後を目標としているが、まだ目処が立っていない状況。ただ、安全規格の内容は、IEC 国際規格で制定された燃料電池安全基準を引き継ぐ形での規格となる見込みとのこと。

以上

## 2018 年度 海外出張報告書

### – f-cell 2018 Stuttgart/Germany –



報告書作成日 2018 年 10 月 31 日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	f-cell 2018 での情報収集
4. 出張者	パナソニック
5. 出張先	Stuttgart, Germany

#### 6. 日程：

2018 年 9 月 17 日 (月) 大阪関西発、Frankfurt 経由 Stuttgart 着

2018 年 9 月 18 日 (火) ~19 日 (水) f-cell 2018

2018 年 9 月 20 日 (金) Stuttgart 発、Frankfurt 経由、9 月 21 日(土)大阪関西着

## 7. 出張概要

### 7.1 参加の背景

NEDO 委託調査事業「燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査」において燃料電池関連の世界の動向調査の一環としてドイツで開催の f-cell 2018 に参加。

### 7.2 参加の目的

セミナーに参加、展示会の視察を通じて欧州の燃料電池関連の最新情報を収集する。

### 7.3 概要

#### (1)会場

従来、Stuttgart 空港近くのメッセで開催されていたが、本年は市内、中央駅近くの産業会館 (Haus der Wirtschaft) に会場が移された。展示スペースは縮小され、ベンチャー企業を中心に、メジャーな企業によるブース展示は無かった。一方、セミナーは盛んで、複数会場で発表が同時進行で行われていた。会場の屋外にはメルセデスの FC バス、トヨタとヒュンダイの FCV が展示されていた。



## (2)セミナー

本年は水電解がメインテーマの一つとして取り上げられ、コスト、耐久性、スケールアップの可能性について積極的な発表と議論が展開された。欧州では再生可能エネルギー（特に風力）の余剰電力を活用した P to G の研究・実証が盛んであるが、エネルギーの川上で CO2 フリーにしておけば、川下で電力・熱・交通のセクターにおいてどんな使い方をしてでも CO2 フリーが実現するという考えが強い。日本は化石燃料からの水素、いわゆるブラウン水素であっても、水素社会を実現していくステップであるとしているのとは対照的である。欧州も日本も目指すゴールは同じでもアプローチは異なる。従って、欧州では水電解のコスト引き下げ（現状 1000€/kw を 2025 年にコスト半減）、スケールアップ（現状 1～3 MW を 10MW に）への活動が盛んである。

また、現存インフラのガスパイプラインに CO2 フリー水素を注入し、その比率を上げていく動きも見られ、実証を始めているエネルギー会社もある。ガス成分に繊細な燃料電池にとっては、ガス成分が変わることになり、大きな課題となり得る。再生可能エネルギーを運ぶ手段として、ガスパイプラインを活用するのが経済的という試算もあり、最終的に 100%水素インフラとして活用する提案もある。

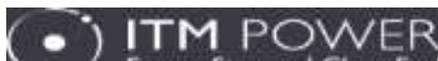
ドイツでは 10 月に鉄道で世界初の FC 車両の営業運転が開始されたこともあり、トピックスとして数多く紹介された。また貨物車両へのレンジエクステンダー、大型トラックの APU など、従来の定置用、FCV 以外への応用の実証試験の進捗状況が紹介された。



## 7.4 フォーラムでの情報収集

### 1. ITM Power GmbH

Calum McConnell 氏



(図面を削除しました。)

10Mw の PEM 水電解装置  
世界最大クラス、  
水素生成 4 トン/日の能力  
2020 年にドイツで実証開始

出典  
<https://www.google.co.jp/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjUj40kKrqAhVLFxAKHekQASMQFjAlegQIBhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.cranfield.ac.uk%2F%2Fmedia%2Ffiles%2Faviation-and-the-environment-2019%2Fcallum-smith-itm-power.ashx%3Fia%3Den&usq=AOvVaw1C9x6qgNrJibSyC0JvTKc>

#### 概要

1. 水素の多くはガス改質で製造されているが、それを水電解による生成に置換えて低炭素化
2. ドイツの Wesseling 精油所 (Shell) で 10Mw 級の実証を準備中 (2020 スタート)
3. 2Mw のサブモジュールを x 5 による世界最大クラスの水電解装置となる
4. 水素製造能力は 4 トン/日、年間 1460 トン
5. 10Mw の実証を推進し、将来的には 100Mw 級も視野に入れている
6. コストは現在€1000/kw を 2025 年に半減させる目標で取り組んでいる

大型の水電解装置の実証場所として、実際に大量の水素が消費される精油所を選んでいる。また、化石燃料を主たるビジネスとしている Shell にとっても低炭素化の取組みの一環となる。Wesseling 精油所は年間 18 万トンの水素を消費しているので、10Mw 水電解装置による水素供給は全体の 1% 以下である。

従って、100Mw クラスへのスケールアップも視野に入れている。この 10Mw のプロジェクトは REFHNY と呼ばれ、EU (FCH JU) からの補助金を受けて推進中である。また、住友と連携して日本への参入も検討中であるとの説明があった。

<http://www.itm-power.com/>

## 2. Proton Motor Fuel Cell GmbH

Sebastian Goldner 氏



(図面を削除しました。)

PEM 2-75kw スタックをライイナップ  
鉄道設備の非常用電源を納入  
移動体への用途展開も提案

出典

[https://www.francoallemand.com/fileadmin/AHK\\_Frankreich/Dokumente/marketing/Veranstaltungen/Transportwesen2019/05\\_Proton\\_Limbrunner2019.pdf](https://www.francoallemand.com/fileadmin/AHK_Frankreich/Dokumente/marketing/Veranstaltungen/Transportwesen2019/05_Proton_Limbrunner2019.pdf)

### Bahnbau Gruppe

#### 概要

1. ドイツ鉄道 (DB) の保守点検会社 DB Netz とプロジェクトを組み、設備の非常用電源を開発
2. 3相 400V, 50Hz, 25kVA で 4 8 時間のバックアップ可能
3. ネットワーク接続によるモニターが可能、本年 9 月に稼働を開始している
4. PM 社はスタック・モジュール製品を車載用 (APU、RE) にも展開することを目論んでいる
5. 生産能力は 3 シフト稼働で年間スタック 5000 台としているが、実稼働状況は不明

PM 社は 1994 年から FC の開発を始め、20 年以上の経験と歴史があるドイツの会社である。自社開発のスタックは PEM タイプで、2kw から 75kw までの出力バリエーションを持ち、産業用、定置用、移動体への展開を目論んでいる。MEA の有効面積 156 cm<sup>2</sup> の PM200 タイプでは 16kw までの対応が可能、MEA 有効面積 409 cm<sup>2</sup> の PM400 タイプは 75kw まで対応可能としている。

その技術をベースに、バックアップ電源用の定置用モジュールや移動体用として APU、レンジエクステンダーの用途を模索している。

また、マンションを想定した自立エネルギーシステムを W.Schmid 社とプロジェクトを推進して検討している。これは PV で発電した電力を使って水電解で水素を生成、貯蔵。必要な時に FC で発電し、熱エネルギーは地下に蓄えるというもの。一つの理想的なアイデアではあるが、経済合理性の検討や具体的な実証プランについては説明が無かった。

レンジエクステンダー用としては 15kw~25kw の事例を説明しているが、カタログスペック的な数値の紹介に留まり、検証結果等の提示は無かった。

<https://www.proton-motor.de/gb/>

### 3. Hydrogenics Corporation

David Frank 氏

**HYDROGENICS**  
SHIFT POWER | ENERGIZE YOUR WORLD

出典

<http://www.hydrogenics.com/wp-content/uploads/HyPM-30-Spec-Sheet.pdf>  
<http://www.hydrogenics.com/wp-content/uploads/Celerityplus-specsheet.pdf>  
<https://www.hydrogenics.com/hydrogen-products-solutions/fuel-cell-power-systems/hydrail/developments-in-hydrail/>  
<https://www.cem.utexas.edu/content/fuel-cell-hybrid-delivery-van>

(図面を削除しました。)

移動体へのスタック供給  
鉄道車両や貨物車用での実  
用化を成し遂げている

(図面を削除しました。)

#### 概要

1. アルカリ水電解のリーディングカンパニー、昨今は移動体用 FC スタックの実用化で話題が多い
2. ALSTOM 社の鉄道車両に搭載され、ドイツで世界初の営業運転を開始した（2018 年 10 月）  
現在は 2 編成が営業運転しているが、すでに 1 4 編成分の受注を受けているもよう
3. 貨物用バン（UPS）ではレンジエクステンダー用 FC スタックが搭載され、17 台が稼働中
4. ノルウェーの最大の食品流通業者 ASKO とは 27 トントラック 4 台に 90kw の FC 電源を搭載
5. 韓国 KOLON 社の副生水素を活用し 1MW の電力を発電している

Hydrogenics 社はカナダに本社を置き、ドイツ・ベルギー・米国に生産拠点をもち、世界で 500 台以上の水電解装置、2000 台以上の FC を設置した実績を持つ。最近バス・トラック用の燃料電池に力を入れているようで、ラインナップも無加湿で 5kW~200kW 超の幅広いラインナップを有している。特に中国の FC バスには注力をしており、今後 2~3 年で 1000 台分の FC モジュール供給の契約を交わしたと発表している。日本企業が中国への技術流出を恐れて躊躇している面があるが、欧米企業は積極的な中国とのパートナーシップを展開している。

<https://www.hydrogenics.com/>

#### 4. HYON AS.

Arild Eiken 氏

HYON

船舶用エンジンを FC に置換え、船舶に水素供給する全体構想を提案。  
FC は 600kW。

(図面を削除しました。)

#### 概要

1. HYON 社は水素バリューチェーン構築に向けて、nel 社（水素製造）、HEXAGON 社（貯蔵）PowerCell 社（燃料電池）とアライアンスを組み、推進している。
2. 特に、船舶のエンジンを FC に置き換えると同時に、FC 船舶への水素供給体制を構築しようとしている。この水素バリューチェーンの原理（しくみ）は世界で初めて DNVGL（船舶関係の認証機関）の認可を得たと発表している。
3. FC 船舶に搭載される燃料電池は PowerCell 社が開発する PEM 型で、100kW モジュールを 6 台パッケージにした 600kW。
4. 従来のエンジンと比べて、サイズは 30%減、重量は半分、効率は定格で 36%向上、50%負荷では 63%向上するという説明。
5. HYON 社は PowerCell、nel、HEXAGON の 3 社の技術をコーディネートし、船舶と湾岸の水素化を目論むが、具体的な案件や時期には触れていない。

HXON 提案の一つの事例紹介は

- ・水電解による水素製造 330kg/day、
- ・水素貯蔵は 789kg（525kg@20MPa, 264kg@50MPa）
- ・水素供給の必要時間は 15 分

Nel の水電解装置は 2kg~200t/day の幅広いラインナップを持つ。PEM タイプは 200kg/Day であるが、12t/Day を開発。アルカリの高圧タイプも検討中。

<http://hyon.no/>

## 5. NOW (National Organization Hydrogen and Fuel Cell technology)

Dr. Geert Tjarks 氏



(図面を削除しました。)

水電解方式の将来見通し  
現在の主流はアルカリ型であるが、今後 PEM の技術進化が進展し、2030 年頃から PEM が優位に立つと予測

### 概要

1. 現在、実用化されている水電解装置の多くはアルカリ型であるが、今後は PEM 型が増えていく
2. 2020 年頃には水電解装置の生産能力は 2 GW 程度まで拡大する可能性がある
3. アルカリ型に比べ効率で劣る PEM 型は改善により 2050 年頃には同等の効率となるが、大きな変化は無い
4. 一方、耐久性は PEM 型が大きく改善され、アルカリ型を大きく逆転していくと予測される
5. 現在の設備コストはアルカリ型が安く、PEM 型はアルカリの 2 倍弱程度である。将来的には PEM 型のコストダウンが進展し、2030 年頃には 1.2 倍程度、2050 年頃には同等と予測

<https://www.now-gmbh.de/en>

## 7.5 主な展示・出品

### 1. GREENLIGHT INNOVATION (本社：カナダ)

(図面を削除しました。)

- ・ 単セル、およびスタックの評価装置 (PEM 用)
- ・ 対応出力は 5-100w, 5-500w, 20-500w, 40-1000w, 100-2500w
- ・ FC-EXPO2019@東京ビックサイトに出演予定
- ・ [www.greenlightinnovation.com](http://www.greenlightinnovation.com)  
<https://www.greenlightinnovation.com/products/fuel-cell/pem-testing>

### 2. Diamond Lite S.A. (本社：スイス)

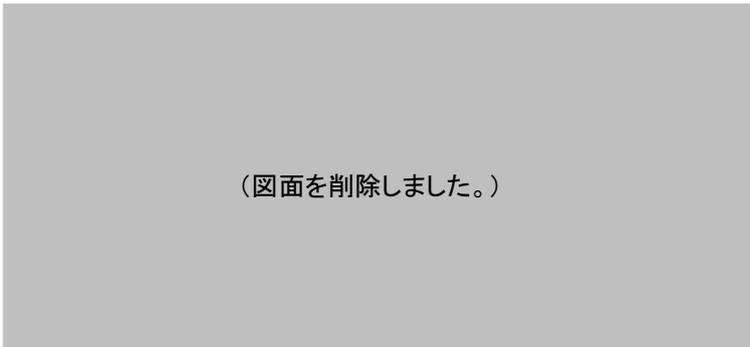
(図面を削除しました。)

出典  
<https://diamondlite.com/en/products/#1495605921716-1b05ddfb-23bf>

- ・ 水電解装置 (PEM)
- ・ S series: 0.5 and 1N m<sup>3</sup>/h, 13.8 bar, 空冷
- ・ H series: 2~6N m<sup>3</sup>/h, 30 bar, 水冷
- ・ C series: 10~30N m<sup>3</sup>/h, 30 bar, 水冷
- ・ M series: 100~400N m<sup>3</sup>/h, 30 bar, 水冷

- [www.diamondlite.com](http://www.diamondlite.com)

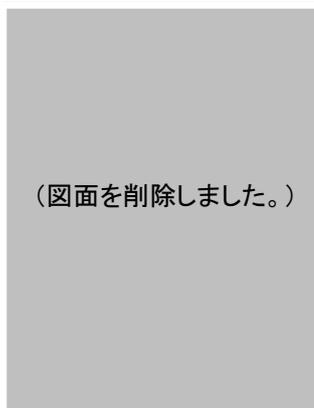
### **3. WS Reformer GmbH** (本社：ドイツ)



出典  
<http://www.wsreformer.de/index.dhtml/565efbdca978c621525n/-/enEN/-/CS/-/Prod/reformerPEM>  
<http://www.wsreformer.de/index.dhtml/565efbdca978c621525n/-/enEN/-/CS/-/Tech/floxreformer>

- 改質器 (天然ガス、LPG、メタノール、DME)
- C5 series: 5~6 N m<sup>3</sup>/h, 効率 78%, CO 10ppm 以下
- C10 series: 12~15 N m<sup>3</sup>/h, 効率 78%, CO 0.5%以下
- M50 series: 64 N m<sup>3</sup>/h, 効率 70~75%, CO 13%
- 2015 年のハノーファーメッセ出展以降、主だった動きは見られない
- [www.wsreformer.com](http://www.wsreformer.com)

### **4. ElringKlinger AG** (本社：ドイツ)



出典  
<https://www.elringklinger.de/en/products-technologies/electromobility/fuel-cells>

- 燃料電池スタック (PEM)
- 小型モビリティ用, 13.1kw, セル数 100 枚, 重量 13.7kg, 金属セパレータ内製
- ElringKlinger はシリンダーヘッドガスケットの世界的な最大手、日本法人も設立している。
- 高い加工技術で金属セパレータを製造、新規事業として PEM 型スタックを開発し展示
- [www.elringklinger.de](http://www.elringklinger.de)

## 2018 年度 海外出張報告書

### — Hydrogen + FC North America 2018—



報告書作成日 2018 年 10 月 31 日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	Hydrogen + FC EXPO2018 での情報収集
4. 出張者	プラザー工業
5. 出張先	Anaheim Convention Center(Anaheim)

#### 6. 日程：

2018 年 9 月 24 日 (月) 名古屋発、成田経由 ロサンゼルス着～アナハイム

2018 年 9 月 25(火)～27 日 (木) Hydrogen + FC EXPO

2018 年 9 月 28 日 (金) アナハイム～ロスアンゼルス発、9 月 29 日 (土) 成田経由 名古屋着

#### 7. 出張概要

##### 7.1 参加の背景

NEDO 委託調査事業「燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査」を行う。

燃料電池関連の世界の動向調査において Hydrogen + Fuel Cell EXPO は北米で最大規模で行われるイベントである。

##### 7.2 参加の目的

北米最大の水素燃料電池展示会とフォーラムに参加して燃料電池関連の最新情報を収集する。

### 7.3 概要

#### (1)会場

アナハイムコンベンションセンターの規模感は東京ビックサイトや幕張メッセの規模と同等であり、太陽光発電のエリアが 8 割を占めていた。残りの面積をエネルギー貯蔵とマイクログリッドと水素燃料電池が分け合う形ではあるが、その比率は 5 : 3 : 2 くらいで、すなわち水素燃料電池の面積はコンベンションセンター全体の 4 % ほどしかなかった。ブースを出していたのは 35 団体で日本企業のブースはトヨタがミライとトラックを展示したブースと、豊田通商とともにスタックを外販するコーナーがあった。住友電工が集電体を高石工業が O リングを展示していた。ブースをぐるっと回れば一時間ほどで回れてしまう規模感であった。

#### (2)フォーラム

会場の小ぢんまりとした規模感に対して、会期期間中ずっと開催されているフォーラムは非常に充実していた。3 日間を通して昼休みもなく連続的に開催されていて、ブースを出している会社や団体もその多くがプレゼンテーションをする時間を設けている。

よって、調査のメインはフォーラムに出来るだけ多く参加して情報収集をすることとした。

手法はプレゼンテーションの画面をすべてカメラに収めてその場では理解できないことを後でプレゼンテーションを見ながら内容をまとめることとした。

#### (3)所感

- 電解装置は日本よりはるかに大きな規模感で考えられている。
  - よって水素の製造量も大量生産をすることを考えている。
  - 水素の生産を増やし消費を増やすことによって水素価格を数セント～数十セントレベルにもってこようとしている。
  - その水素を大量消費するアプリケーションとして FC トラックを考えている。
  - 水素ステーションの数は少なくトラックやバスの拠点にまず作ることからスタートしようとしている。
  - 一部の水素を大量消費しない FCV ユーザーの利便性の為に水素ステーションを 100 か所も作った日本の政策が正しかったのか考えさせられた。
  - 米国や中国が FC バス、FC トラックで一気に水素消費量を増大させ水素社会を加速していくように思えた。
  - 可搬型燃料電池は表舞台には表れていない。
  - 日本の国内メーカーだけ同士で実証事業をしていては大きなブレイクスルーが生まれなかった。
- ◆ フォーラムは 3 日間を通して色々な情報が入手できた。オーディエンスからも活発な意見が出て「今は小ぢんまり片隅で Hydrogen + FC EXPO を開催しているが、来年はアナハイムコンベンションセンターをいっぱいにしてみようぜ・・・」という意気込みも聞かれた。最後まで皆さん熱心にフォーラムに耳を傾けていた。
- それを象徴するのが以下の写真で、終了時間が来て他のエリアはがらーんとしてしまった後

も、そしてメイン照明が落とされても水素燃料電池のフォーラムは続いていた。

(会場写真を削除しました。)

#### 7.4 フォーラムでの情報収集

##### (1-1) 国立燃料電池研究センター長、ジャック・ブローワー教授

水素エネルギーは環境汚染対策に有効で保存性もリチウムイオン電池に比べて良い。

(会場写真を削除しました。)

#### 概要

エネルギーは5つに大別できる。

1. 自然破壊と温暖化を引き起こす、石炭・石油・天然ガスの化石燃料
2. 穀物、樹木から作られるエタノール、バイオガス、バイオマス
3. 水力発電は蒸発、雲、雨、湖の恵み
4. 風力
5. 太陽光発電

エネルギーの持続可能性の実現は地球環境を破壊することなく自然な形でエネルギー供給源を変換していくことが大切である。

地球の起源46億年前からするとわずかの期間に化石燃料を大量に消費している。

そんな状況を打破して我々はもっと再生可能持続可能なエネルギーを使わねばならないし、転換技術が急がれる。

幸いにも太陽光発電のコストはこの6年で四分の一に下落してきた。

100%再生可能エネルギーでの電力供給を実現するには電力需要の季節変動をいかに吸収するかが課題である。

それには電力長期の保存とクリーンなすばやい発電設備が必要となる。

シミュレーションの結果によるとリチウムイオン電池では十分な電力を保存できない。

現存する天然ガスの設備を水素の貯蔵に使う方が適している。

全世界の需要から換算するとリチウムイオン電池を作るためのリチウムやコバルトの必要量が算出できるが、重くて高い、自己放電など問題も多い。

バッテリーは効率が十分ではなく、自己放電の問題もある。

一方で水素は劣化がなく保存性能に優れている。保存コストも劣化がないのでバッテリーより安価である。

再生可能エネルギーを活用した水電解装置利用が考えられる。

またカリフォルニアには定置型燃料電池発電機も設置されている。

再生可能エネルギーは環境汚染をしない。水素はどこにでもあっても重要な正味ゼロエミッションのエネルギーシステムを作り出すことができる。

水素を船で大量輸送し、飛行機、列車、バス、トラックなどの需要に答えることができる。

水素は環境汚染対策に欠くことのできないエネルギーである。

#### 国家燃料電池研究センター（NFCRC）について

NFCRC は、1998 年に米国エネルギー省とカリフォルニアエネルギー委員会によって設立され燃料電池技術の開発と展開を加速し、市場への支援を行っている。

カリフォルニア大学アーバイン校はエネルギーと環境の研究で豊かな伝統を持ち、国際的にエネルギーと輸送の研究と革新の地として認知されている。アーバイン市は、アメリカ最大コミュニティの 1 つであり、世界の自動車デザインの大部分はこの地域から発達しており、また世界最大のエネルギーコンサルタント会社の本拠地である。

NFCRC は、工学および物理・生物学のすべての分野の学部生および大学院生が所属し、社会科学およびビジネス科学のコースおよびチームプロジェクトを実施している。またカリフォルニア州定置式燃料電池協調（CaSFCC）、カリフォルニア燃料電池パートナーシップ（CFCP）、米国燃料電池協議会、米国機械学会（ASME）に所属している。

## (1-2) 南カリフォルニアガス会社 ロン ケント氏

水素の様々な製造方法  
とコスト試算

(会場写真を削除しました。)

### SoCalGas の低炭素リソースの研究開発と実証試験

#### 別の再生可能な水素での解決策

温室効果ガスを削減するために以下の課題を解決して行く必要がある。

- ・再生可能エネルギーから作られるガスへの依存
- ・風力発電、太陽光発電の発電量の変動を吸収する方法（ダックカーブ現象の解決）
- ＊ダックカーブ現象とはカリフォルニア州で発表された実質電力需要と供給量が時間帯によって大きく乖離している現象。

日中は実質電力需要が大きく減少し、夕刻には逆に需要が増大。昼間と夕刻とで需給バランスが逆転してしまっており、グラフが横から見たアヒルのお腹と首に見えることからダックカーブ現象と呼ばれる。

カリフォルニア州はアメリカの中で太陽光発電導入量が飛びぬけて多い。

- ・電気料金下落
- ・エネルギー保存の必要性の増大

それらの課題を解決するために

- ・バイオマス、風力、太陽光からの水素製造（P2G）
- ・燃料としての水素をパイプラインに混ぜる
- ・電気とガスのグリッドの統合
- ・カーボンのリサイクル

#### 研究開発と実証の対応方法

1. 環境改善
2. 市民と従業員の安全確保
3. 効果的なリソース使用あるいは削減やシフトによる保全
4. 新しいリソースとプロセスの開発、とりわけより多くの供給を確保出来る技術に繋がる再生可能エネルギーのリソースとプロセスの開発

## 5. オペレーションの効果と信頼性を向上させるかまたはオペレーションコストを削減すること

それ以外の再エネ水素のリソース

- ・バイオマスからの水素ガス製造、カーボンを捕らえて活用することも同時に行う。
- ・水素と炭素の同時製造
- ・太陽蒸気メタン改質
- ・メタン化

炭素の補足と隔離；カーボンネガティブエネルギー（CNE）

カーボンネガティブエネルギー（CNE）プラントは廃棄バイオマス燃料を使用して合成ガスを生成する。

合成ガスはガス分離装置により水素が取り出され水素ステーションに販売される。

水素が取り除かれた合成ガスは酸素共に電源ブロックに送られ電気と CO<sub>2</sub> が捕捉される。

CO<sub>2</sub> は CCS により安全に永久保存される。

電気は既存の充電設備に送られ、新しいカーボンネガティブエネルギー車として EV が位置づけられる。

カーボンの捕捉と活用；水素と炭素の同時生産

ベース成長炭素のメタン熱分解と遷移金属触媒上の CO<sub>2</sub> フリー水素

- ・これはウェストバージニア大学との共同研究である。
- ・これは低価格で国内で入手可能な天然ガスを用いて CO<sub>2</sub> フリー水素とメタン熱分解からの固体炭素を作る新しい方法で、水素の製造コストは 1Kg あたり\$2 以下に抑えることが出来るのみならず副産物として価値のある炭素が得られる。
- ・カーボンナノチューブは先端成長ではなくベース成長のメカニズムによって作られる。従来技術は触媒の再生可能性と浄化において有利な経済性を持っている。

天然ガス、水、再エネからの水素製造

太陽蒸気メタン改質法(SMR)

- ・太陽光による SMR はコスト競争力のある水素を製造できる
- ・標準装置で 6 時間の太陽光で 1 日 25Kg の水素を製造できる
- ・再エネからの電力を吸熱反応と組み合わせると装置は 1 日 100Kg の水素を製造できる
- ・コストターゲットは\$2/Kg

1 日あたり 100Kg の水素を製造する設備

- ・最近のテスト結果によれば、100Kg の水素を作るには 250 m<sup>2</sup>の太陽光の受け皿が必要である。

- ・これは今の設備の皿が 20 個必要なシステムになる
- ・この仮説は 1 日平均して 6 時間の太陽光が射したときを想定しているが日によってはもっと太陽が照りつけることもあるし、朝方や夕方は日が翳って十分な発電が出来ない。それらを加味して 6 時間の日射とした。
- ・PV と水電解装置で 3180 m<sup>3</sup>の容積が必要
- ・PV と CMR+WGS で 810 m<sup>3</sup>の容積が必要

#### 電波を使った水素製造

##### JPL 触媒を用いた非熱プラズマによる水素製造

ゴール；比熱プラズマ触媒法（CNTP）技術によって従来天然ガスと水から作られて提供される水素と同量が製造できるようになること。

コンセプト；誘電体バリア放電（DBD）プラズマが触媒の能力を強化して SMR 反応により必要なエネルギーを削減できる

#### 目標数値；

- ・エネルギー変換効率 75%以上
- ・立ち上がり時間 30 分以内
- ・低温動作（400℃）
- ・小型装置の水素製造能力は 1Kg/1 日
- ・生産用装置の水素製造能力は 5Kg/1 日
- ・製造コストは水素 1Kg 当たり\$2～\$4/Kg

#### メタン化による P2G

再エネからの水素とメタン化の下流で出来る CO2 により再エネメタンと水が作られる

##### P2G によって作られる再エネメタンの利点

- ・再エネの電力として深く浸透できる
- ・CO2 がリサイクルできる
- ・一般的なパイプラインの使用可能
- ・天然ガスネットワークによりエネルギーの長期保管が可能
- ・エタノール、酪農、廃水、醸造所などからの CO2 以外の不純物を取り除ける
- ・規模を拡大でき、毒性がなく、自己複製可能、バイオ触媒、低温のシステムを構築できる

## ダイレクトパワーto メタン

直接メタン化によって水素の製造工程が短縮できる

PV(e-)→メタン化(CH<sub>4</sub>)

Opus12 という装置はサイクロトロンロードの起動が直接熱触媒工程を展開することにより二酸化炭素と水をメタンに変換する。

ローレンスライブモアナショナル研究所とスタンフォード大学は二酸化炭素と水からメタンを作る方法としてメタノコッカス属古細菌を採用している。

## LCR 技術のギャップ

電子化学、熱化学、光化学、生化学工程の強化

- ・水素と炭素の同時製造によるメタン
- ・CO<sub>2</sub> と水を空気から捕らえることによる削減
- ・水分離を統合することによるメタンと炭化水素を製造する過程における CO<sub>2</sub> の削減

生産

- ・ローコストの化学プロセス「chips」
- ・ユニバーサル化学プロセス「skids」
- ・ローコストの太陽光熱集中

### (1-3) NIKOLA MOTOR ジェッシー シュネルダー氏

(会場写真を削除しました。)

2 年後から大型トレーラーをディーゼルから燃料電池に置き換えるメリット提案

クラス 8 のヘビーデューティトラックを燃料電池トラックにする。

クラス 8 とは 15 トントラックである。

ニコラモーターは最初に有害物質排出量ゼロをうたった水素燃料を動力源としたセミトレーラートラックメーカーで、遠距離市場で 100%電気を動力源としている。

トラックにおいては、

- ・所有トータルコストはディーゼルトラックに比べて 15%~20%安く、しかも有害物質排出量ゼロである。

- ・世界的規模の戦略的トラック製造者はニコラモーターと提携し、プロトタイプと適時の市場参入の為の研究開発の支出を抑えることに成功している。

- ・ニコラモーターの破壊的なビジネスプランは業界初の「トラック、燃料、修理、メンテナンス」をバンドルしたプランである。

#### 水素ステーション

- ・70Mpa の水素ステーション（開発中）
- ・製造—現地で水電解にて水素を製造する
- ・電力—太陽光、風力（エネルギーのコストと再生可能エネルギーかどうか）
- ・水素ステーションのネットワークは専用ルートの水素専用とする

#### 多用途 4 輪車

- ・100%電気で動く 4 輪駆動のリクレーションや軍用車両
- ・どうしてか。それはトラックの駆動系の開発を加速するためであり、技術とソフトを簡単にトラックに移植できるから。

- ・多用途 4 輪車は 125Kwh の出力である

ニコラモーターのパートナーは、

BOSH,nel,MAHLE,MERITOR,WABCO,Ryder,FITZGERALD,PRATTMILLER である。

クラス 8 のトラックは燃料にお金がかかるが、ニコラモーターはそれを改善していく。

トラックに 1 5 万ドルかけるユーザーは軽油に 53.3 万ドルかかっている。

高額な運用コストに悩んでいる業界はニコラが提唱する方法を受け入れてくれるだろう。

燃料電池と水素はディーゼルよりきわめて魅力的である。

ニコラの燃料電池トラックと水素の供給は業界初のバンドル価格の提案である。

- ・7 年リースで、100 万マイル

- ・リースにはトラック価格、水素、修理、メンテナンスが含まれる。

- ✓ ディーゼルに比較して 15%~20%安価である  
燃料がより安く、メンテナンスを削減できて稼働率が上がる

- ✓ 性能が良い  
移動距離が長く、馬力もトルクもある
- ✓ 自立的なハードウェアの準備  
強化された自動運転、自動ブレーキ、自動レーンキープ、それ以外にもオプションで様々な機能が備わる
- ✓ 水素はディーゼルより安心  
水素は低圧なので空気に混ざって燃えることはなく空気の 22 分の 1 の重さなので空気中にすぐに拡散する。
- ✓ 環境にやさしい  
有害物質を発生せず、音も静かである
- ✓ 安全性の確保  
6×4 または 6×2 ドライブでトルクをベクトル化し、ブレーキの効きは良く、重心が低い。

燃料電池トラックは大きな変革を生む技術である。

貨物輸送の効率が 50%アップする。

- NIKOLA2 は 8000 台以上の一次予約が入った
- そのうち 800 台は ANHEUSER-BUSCH INBEV（酒類メーカー）からである。
- トラックはすべて燃料込みのリースとなる
  
- NIKOLA2 は 100%有害物質を排出しない
- 100%電動
- 水素燃料
- 750Km～1200Km 走行可能
- 安全装備
- 2000ft LBS
- 1000 馬力
- 240KW 燃料電池
  
- NIKOLA2 は Powercell から 120Kw のセル×2 の 240Kw を採用している。
- -30℃～50℃の環境温度で使用可能
- ショックや振動に強い
- LHV で 60%以上
- 20000 時間の寿命
- コンポーネントのサプライヤーは Freudenberg, Umicore, DANA などである
- 最初のサンプルは 2018 年の第 4 四半期に出てくる

水素ステーションは、

70Mpa で HD ディスペンサーのプロトコルを持ち、10 分の HD 燃料充填、80Kg の水素を 10 分で充填できる

高圧水素充填に係る国際規格(SEA J2601)に準拠し、50Mpa の水素ボンベトレーラーによる販売も行なう。

トラックの停車場として 1 日あたり 4-8 トンから将来は 32 トンまでの規模としている。

最初に開発する水素ステーションは 2019 年第一四半期から 2020 年の第二四半期に稼働させる。

最初の 8 トン標準水素ステーションは 2021 年になる。

更に 28 箇所の水素ステーションの追加要望が 2023 年スタートで ANHEUSER-BUSCH INBEV (酒類メーカー) から来ている。

ニコラは 2028 年までに 400 以上の水素ステーションを開設する。

まとめ

1. 燃料電池トラックと水素を組み合わせたニコラのクラス 8 のトラックをターゲットとした TCO リース事業はトラック事業者到低コスト化を提供する。
2. 燃料電池トラックはハイブリッド化され主に高速道路での快適性を備えることになる。
3. 水素ステーションは 4-8 トンの水素充填設備をアメリカ国内に網羅し、32 トンのトラック停車場を設ける。
4. 水素ステーションはヘビーデューティー、ライトデューティー用として共有する。
5. アリゾナに R&D センターを設立し、MEA から燃料電池車に至るまで燃料電池の全般的な研究開発を行なう。
6. ディーゼルを水素と燃料電池で置き換えることが現実となる最初の機会となる。

#### (1-4) Nel Hydrogen ビジウム シモンセン氏

(会場写真を削除しました。)

水電解装置の老舗でバスやトラックに水素燃料を供給する計画とコスト試算

Net Hydrogen は水素技術会社でオスロの証券取引所の上場している。株主は 1 万 6 千名。

250 人の従業員が在籍しており、工場はノルウェー、デンマーク、アメリカにある。

217 年度の売上は\$37M で 2017 年 Q1、Q2 の売上に対して 2018 年の Q1,Q2 は 50%以上増加している。

世界最大の水電解装置の 製造メーカーで 1927 年の創業以来 3500 台以上を 80 カ国に展開している。

9 カ国に 40 箇所の水素ステーションを展開し 2018 年には韓国への進出を果たした。

燃料電池は乗用車、バス、トラック、列車、船舶などすべての形態の交通手段に取り入れようとしている。

デンマークのヘアニングに従来の 10 倍の工場面積を確保した。

最初の Nikola の水素ステーションの容量は 1000MW になる。

1927 年からのトータル容量は 650MW である。

製品の小型化を推進し設置面積を 40%削減した。

クラス 8 の大型トラック用の充填用に 4 ないし 8 トンから 32 トンの水素が毎日必要となる。

2012 年から ノルウェーのバス基地において 10 台の FC バスに毎日 250Kg の水素をオンサイトで製造して充填している。

そのスペースは 350 m<sup>2</sup>で水素価格は日本円で約 1500 円/kg である。

新しい提案では集中生産をして 3 トンの水素をトラックで運び 150 台の FC バスに充填することを想定する。

そのスペースは 200 m<sup>2</sup>で水素価格は約 700 円/kg となる。

ノルウェーのノートオッデンも 10 倍の容積に拡大する。

#### (1-5)Sono-Tech ブライアン ブース氏

超音波コーティングの説明

(会場写真を削除しました。)

Sono-Tech はニューヨーク州ミルトンにある 60 名ほどの会社で、超音波コーティングの開発から製造まで行なっている。

その技術は光学、医療、半導体。プリント基板など様々な分野で活用されている。

超音波コーティングのノズルの技術は正確な低速エアと組合すことにより、繰り返し正確にスプレーパターンを描くことが出来る。

スプレーパターンの距離は 1 つのノズルあたり 0.18cm～30.5cm であり、どんなエア形成をするかにも依存する。

複数ノズルを並列に並べると無限長の薄膜に均一にスプレーできる。

Sono-Tech 超音波ノズルはノズル本体に連続的な超音波振動を発生させてその本体に入る液体を微細にやわらかく砕いて微細粒子にし、触媒の基板に薄く均一に皮膜を作ることが出来る。

この方法を用いるとエアースプレー、スクリーン印刷などどんな方法と比較してもより均一で確実な塗工が出来る。

ユーザーである UTC Power, 南カリフォルニア大学、SINTEF からは称賛の声が出ている。

#### (1-8) Nel ステファン スズマンスキー氏



この会社 2 回目の登壇  
水電解装置の説明とコスト試算

Nel はノルウエーの会社で 1927 年に最初の小型の電解層を作った。90 年の歴史がある。

現在はアメリカに PEM 型の水電解層の工場、デンマークに水素ステーションの工場、ノルウエーにアルカリ型の電解装置の工場を持つ。従業員は 3500 人。40 以上の水素ステーションを設置した。

1953 年にノルウエーの Glomfjord に 30,000N m<sup>3</sup>/h の水素を製造する大規模な工場を作り 1991 年まで稼動した。

新しいシステムはグリッドスケールの規模に達する。

- ・コストダウンは水電解装置のユニット構成に依存する。
- ・8 つのスタックユニット (～20MW) がグリッドスケールの工場の基本構成である。
- ・ターゲットである \$500/kW 以下のコストは達成できそうで、数百 MW の供給を実現できる。
- ・大きなスケールの工場のコンセプトは顧客と共に進捗している。

大規模な電解装置は触媒の増加による

マルチな MW システムはターゲットとする市場を増大させる。

新しい市場とは再生可能エネルギーの貯蔵、バイオガス、水素ステーションであり、現存の市場とは、発電、半導体製造、実験用、軍用、熱処理である。

この先再生可能エネルギーの貯蔵分野で大きな伸びが期待できる。

グリッドスケールの水電解装置は再生可能エネルギーの貯蔵に最適である。

風力と太陽光発電量の 30%はロスとなっておりその金額は\$12B に上る。

この使われない電力を水電化装置で水素に変えるべきだと考える。

太陽光と風力の組み合わせにより水電解装置の活用を増やすことが出来る。

- ・太陽光と風力の組み合わせはとりわけオフグリッドで実質的な水電解装置の活用が許される・

- ・設置場所によって風力は夜間、太陽光は昼間に発電する。

- ・太陽光と風力と水電解装置の容量の最適化はオフグリッドにおいて水電解装置の稼働率を 65%まで高めることが出来る。

- ・ただ、オフグリッドの運転に安定的な十分な電力が供給されているかどうかを確かめるためにローカルな電力制御が必要になる。

水素の貯蔵は長期保存が必要な用途に適している。

短時間的にはバッテリーや次にフローバッテリー、水素や LOHC,アンモニアが適している。

マーケットの規模はアンシラリーマーケットの規模よりはるかに大きくなる。

トラックやバスは水素の消費量を飛躍的に増加させる。

トラックは乗用車に比べて飛躍的に水素を消費し水素ステーションの利用が増大する。

50MW の水電解装置があれば 1 日に 25 トンの水素が製造出来る。

トラックは乗用車の 80 倍、バスは乗用車の 40 倍の水素を消費する。

再生可能エネルギーは水素によって化石燃料と同等のコストにすることが可能である。

水電解装置の設備コスト(CAPEX)は数量次第で水蒸気改質方法(SMR)より下がる。

1Kg の水素を作るコストは設備コストが 1/4、運用コスト(OPEX)が 3/4 かかる。

再生可能エネルギーの運用コストは既に化石燃料と同等である。

### (1-9) Hydrogenics マイケル アーカンボルト氏

水電解装置に関する紹介

(会場写真を削除しました。)

ハイドロジェニクスは 70 年間にわたって水電解装置を製造している。

そして 70 年間水電解装置を進化させてきた。

大気中のアルカリ電解装置 ; ショルダー、圧縮機、多くの装置が必要で設置コストが高く面積も大きい。

それが、加圧アルカリ法になって 215Kg/1 日の製造を 40 フィートコンテナサイズで実現出来るようになった。

またハイドロジェニクスは燃料電池列車のスタックを提供した。

中国では燃料電池バス 1000 台分のスタックを提供する。

1 日あたり 75Kw/33Kg の水素製造が出来るアルカリスタックや 1 日あたり 2.5MW/1080Kg の PEM スタックを製品化している。

マークハムのエネルギー貯蔵工場ではハイドロジェニクスの高機能 PEM 水電解装置がグリッドの事業者  
に有償サービスを提供している。

マルチ MW 水電解装置はグリッドサービスを提供している。

エネルギーの貯蔵は 5MW のモジュールを並べることによって規模を大きくして行く。

5MW のユニットで 1 日あたり 2000Kg の水素を製造できる

#### **(1-10) カナダ水素燃料電池協会 会長 ロス バレー氏**



カナダが水素燃料電池において世界のリーダーである

水素燃料電池に関するカナダの役割

燃料電池と水素の技術のコンピテシーの中心ー燃料電池の発祥地

カナダが生んだすべての水素と燃料電池のアプリケーションのシステムや部品を世界に輸出している。

国内においては移動手段、エネルギーの保存、発電と保全におけるクリーン技術の採用が進んでいる。

カナダ水素燃料電池協会は政策、補助金事業、実証プロジェクトにおいて実質的に政府をサポートしている。

カナダ水素燃料電池協会は

1. カナダの水素燃料電池分野を代表する非営利団体である。

2. 本部はバンクーバーにある。
3. 2009年に Canadian Hydrogen Association と Hydrogen&Fuel Cells Canada が統合して作られた。
4. カナダの考えを発信する部門で、政府関連、市場の創造と取引、教育や調査メンバーのネットワーク作りやサポートを行っている。

#### 交通

カナダ製の燃料電池システムと部品は以下に使われている。

- 乗用車、
- フランス、ドイツ、アメリカ、イギリス、ブラジル、中国の燃料電池バス
- コンテナ等の大型トラック
- 船
- 列車

キープレーヤーは

-Ballard, Hydrogenics, Loop Energy, MBFC

-バラードはアウディと3年間の燃料電池自動車開発契約を締結した

-また、メルセデスは&70MM 投資してブリティッシュコロンビア州のバーナビーに自動化された燃料電池アセンブル工場を作った。

最近では LOOP Energy というメーカーが 30KW や 50KW のバス、トラック用のスタックを作っている。バラードは 3 万時間にわたる FC バス用スタックの耐久テストを行なった、また、クラス 8 トラック用のスタックも製造して

いる。

鉄道においては、Hydrogenics が Alstmos と契約し、オンタリオで燃料電池列車の実証をしている。

バラードは Siemens と覚書を交わした。

Hydrogenics はアメリカで最初の燃料電池高速船を製造した。

バラードは ABB と燃料電池大型客船の開発に関する覚書を交わした。

カナダは全アメリカ、ヨーロッパに水素ステーションを設置する依頼を受けた。

水素ステーションは、バンクーバー、トロント、ケベック州に背地されている。

主なプレーヤーは HTEC、Hydrogenics、Powertech Labs、Greenlight Innovation である。

最初の水素ステーションは 2018 年の 6 月にバンクーバーでオープンした。

H2aaS は Hydrogen as a Service のことで、燃料電池車に水素を供給するための世界初の経済モデルである。

水素と再生可能エネルギーにおいては、カナダは世界有数の水素生産国である。

グリーン H<sub>2</sub> 生産、P2G、バイオガスのクリーン化、水素貯蔵など、またブリティッシュコロンビアの化学工場には世界初の

廃棄水素の回収システムを作った。

主なプレーヤーは Enbridge, HTEC, Hydrogenics, Quadrogen, ITM である。

テストと認可

カナダは工業会をリードするテスト装置を作った。

燃料電池、バッテリー、改質器、コンデンサー、水電解装置

テストと認可サービス、エンジニアリングサービスも行なっている。

主なプレーヤーは Greenlight Innovation, CSA, Powertech labs, Intertek、HTEC, Sacre-Davey, Overdrive などである。

ITM Power, 千代田化工機、三井と G&S Budd Consulting は共同でカナダで作った水素を日本に輸出する実証事業を始めた。

プロジェクトはブリティッシュコロンビア州で実施され、安い水力発電を活用している。

システムは LOHC 技術を利用して水素の輸送に使われる。

カナダの水素と燃料電池に関する R&D は 1980 年代の初頭に始まった。

大学の強い意思と国際協調によって継続している。

主なプレーヤーはブリティッシュコロンビア州、オンタリオ州、ケベック州の大学、原子力研究所、カナダ国際研究評議

会である。

ブリティッシュコロンビア大学の構内には新しいエネルギー収束のビジネスモデルの実証実験が行なわれていて、将来は

地方自治体に展開することを考えている。

カナダの水素と燃料電池の組織は国際組織へ加入しており、協業や投資が進んでいる。例えば、パラードによる Weichai への投資、Greenlight による AVL（パワートレイン開発業務委託会社）への投資、

Hydrogenics による Hejili 投資会社への投資、ブリティッシュコロンビア大学と Fraunhofer による共

同研究などである。

#### 結論

- ・カナダは水素と燃料電池のコンピテシーの中心である。
- ・輸出における商用化は大成功を収めていて、国内への配備も始まった。
- ・ヘビーデューティトラック輸送、水素製造、P2G への関心が高まってきた。
- ・カナダの色々な組織とのパートナーシップの機会はいつでもある、  
研究開発、サプライチェーン、協力やジョイントベンチャー、投資

**2019年5月22日、23日にカナダのバンクーバーで HFC 2019 が開催されます。**

#### (1-11) GINER ヘクター マーザ氏



(会場写真を削除しました。)

水電解装置、燃料電池のシステムを開発・納入

GINER は 45 年の歴史があり、電気化学の研究開発に特化した会社である。

燃料電池、水電解装置、生活のための酸素、センサーなどの商品をマサチューセッツ州のニュートンで開発している。

2017 年の 4 月に GINERELX に再編され大規模な水電解装置やスタック技術に焦点を合わせている。

GINERELX は周辺装置を含めてオールインワンシステムとして顧客に提供しており、最近ではフィンランド、インド、ドイツ、スペイン、ベラルーシに納入した。

## (2-1) サウスコースト大気管理区 マット ミヤサト博士

カリフォルニアの大気汚染  
に関する警鐘

(会場写真を削除しました。)

Ditch Diesel ディーゼルをなくそう

ロスアンゼルス周辺の大気汚染は深刻で都市の北側では非常に不健康な大気の状態になっている。

2023年の予測ではNOxの総排出量は1日約270トンになる。

このうちトップ5は重量級のトラック、重機、外航船、機関車、自動車/普通トラック/SUV、航空機と続く。

現在の目標値は2023年までにNOxを1日150トンまで減らすこと、2032年までに1日100トンまで減らすことである。

すなわち、2023年までには重量級トラック、重機、外航船のディーゼルを排除すること、2032年までにそれに加えてディーゼル機関車、自動車/普通トラック/SUVの排気ガスを無くす必要がある。

台数に換算すると、重量級トラックは20万台、重機は15万台に相当する。

ゼロエミッションへの道は険しいが規制を変え、インフラを整え、トラックを排除することで実現していかねばならない

## (2-2) Hofer 高圧圧縮機 トッド スツルドベント氏

振動板方式の高圧圧縮機メ  
ーカー

(会場写真を削除しました。)

NEUMAN & ESSER グループ(NEA)は Power to X (エネルギーを色々なもので保存する) のプロジェクトを推進している。

Hofer は 1920 年に Andreas Hofer により設立され、2015 年に NEA グループに買収された。

Hofer の圧縮技術は振動板、ピストン、ハイブリッド方式である。

ピストン圧縮機は、水力、潤滑油不要、どんなガスでも圧縮可能、磨耗しない特徴がある。

90 万ポンド平方インチまでの加圧が可能で、入り口の流量は一分間に 5 から 2000 立法フィートである。

振動板ピストン圧縮機の一般的な使用例は、

FCV や FC バスへの充填

エアバックのカートリッジへの充填

熱間等方圧加圧法

バスポンベへの充填

ダイビングの酸素ポンベ

食品産業

研究開発

高圧で純度の高い用途である。

HOFFER の水素ステーションへの適応

ダイヤフラム式圧縮機を採用している。油圧系統とガス圧縮の組み合わせで構成されている。

ドイツのミュンヘン空港、日本の横浜に設置されている。

水力式のピストン圧縮機は 1985 年から出荷されており、約 220 台の実績がある。

アメリカには 14 台、ヨーロッパには 16 台

ミュンヘンやミュールハイムにも設置されている。

### (2-3) 高石工業 高石秀之社長

登壇した唯一の日本メーカー  
O リングの説明

(会場写真を削除しました。)

高石工業は茨木市に本社がある水素ステーション用の O リングの会社である。

創業は 1948 年で従業員は 85 名

日本とベトナムに工場がある。

水素ステーションの充填ホースには離脱装置が取り付けられている。これは FCV が異常発進した時に水素を漏らさずにホースが外れるようにする機構である。

この離脱装置に使われる O リングに要求されるスペックは

水素充填時間 ; 3 分以内  
水素圧力範囲 ; 0-70MPa  
温度範囲 ; -40℃-85℃

#### 水膨れ破断の原因

高圧で圧縮状態のある溶質ガスは、圧縮状態が解除されると気泡が入ってきてクラックを生じる。  
これが破断の原因である

#### 全周破断

Oリングと溝の隙間から膨れ上がった水素が漏れる

低温でリングが硬くなると水素は表面から漏れる

九州大学の西村先生と共に低温での Oリングの品質改善に取り組んだ。

ポリマー、シリカ、C.B 処理、可塑剤などのパラメーターを変えて実験した結果スペックを満たすものが完成した。

試験は吹くオア k にある HyTReC にて行なった。

完成した製品の品番は EPDM70 と EPDM90 である。

2014 年からスタートした水素ステーションに採用された。

水素ステーションの構成要素において求められる温度範囲が異なる。

圧縮機は周辺温度 150℃/180℃、シリンダーでは-40℃-85℃、ディスペンサーでは-40℃-85℃である。

高温に適応した Oリングも完成することが出来た。

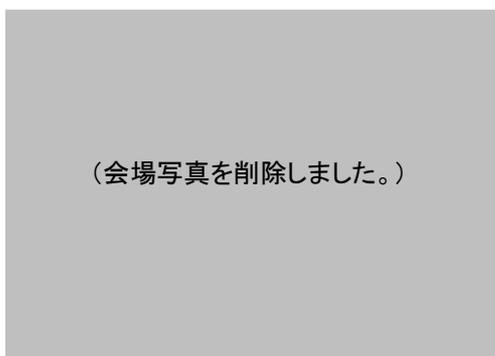
#### まとめ

・水素ステーションに必要な温度範囲は各装置によって異なるためその装置の要求スペックにあった Oリングが必要となる。

・-40℃-85℃の温度範囲に適合した Oリングは水素耐性がある EPDM である。

・180℃までの高温に適合した Oリングは FKM である。

#### (2-4) aperam ジョセフ バー氏



コーティング技術を持つメーカー

AION ; PEM 式の燃料電池の両極に用いるプレコートステンレス鋼

100%リサイクル可能で 85%がリサイクル品から作られるステンレス鋼はマスプロをターゲットとしたグリーン調達品である。

今回は FC スタックにステンレス鋼を使うことを提案する。

FCV のマスプロと商業化を目指すにはスタック電極にローコストでエコな材料を使うを考えなければならない。

PEM 型 FC の両極のスペック

1 つの電極は 2 つの形をもつステンレスで構成されている。

電極は複数の機能を持っている。

- 電子を集めて放出する
- 水素と空気を分配する
  - 水蒸気量を適切に膜に与える
  - クーラント（温度を適温に）
- H<sub>2</sub>/空気/クーラントをしっかり封印する
- PEM を堅牢に保持する

求められる複数の機能としてステンレスは電子の伝導性において問題があり、コーティングを施すとそれは解決するが、コストが高くなる。

そこでそれを解決する効果的なコーティングが求められる。

解決策は商標登録している AION で、ステンレス鋼のような特性を持つコーティングで高い電気伝導性を持つ。

Aperam の基本的な考え方は、プレコートのコイルで、今の工場で生産できて、今のコーティングの手法で実現できるものである。

従来方法はコイルから型を抜いたものをコーティングしていたが、AION（はコイルに巻くときにコーティングするので、方を抜いたらそのままアSEMBルできる。

板を抜いてから一枚ずつコーティングすることに比べてプレコートは速い

0.0075mm のコーティングが可能で、薄くても効果的なコーティングである。

我々の専門家は生産品の選定から確認、活用まで顧客の相談に乗る事が出来る。

効率の良い製品化に向けて

- 10 年の R&D の経験と工業化が大きな提携をじつげんしている
- エンドユーザーが確認するまで工程において表面抵抗、電気化学テスト、マイクロ構造の試験を行なっている。

一番大きな挑戦はコイルを作る工程で使う既存の設備でコーティングすることにある。

ICR(内部校正抵抗) はコイルの幅と全長において均一でなければならない

- ICR はポスト電気化学テストで、定電位、動電位、ストレステストをアノードカソード両極で実施
- ICR の成型後の定数は 10%から 30%の伸び率になる。

・ICR のスタック状にした後の定数はユーザーによって測定される

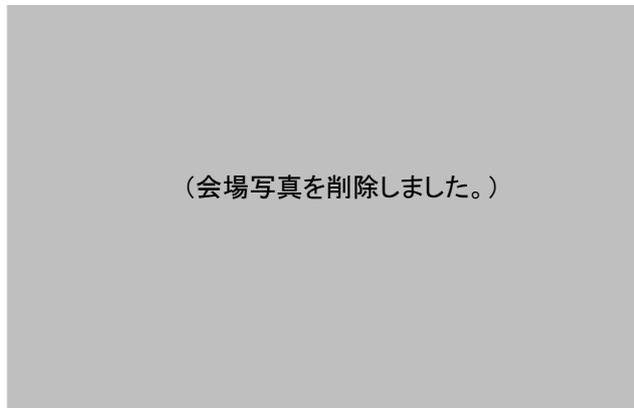
Aperam のコーティングは DOE が定めている抵抗値をかなり下回り、金コートに近いがコストはきわめて安く電氣的に安定している。

透過電子顕微鏡を見るとコーティングは均一で、柱状で、100nm の厚さで、しっかり付着していて、結晶化している。

スタックテストの後もコーティングの厚みは保たれていて分離している箇所も無い。

このように Aperam の製品は競争力があり、良い選択となると思う。

## (2-5) HYET Hydrogen ロンボート スワンボーン氏



化学を用いた水素圧縮技術  
の紹介

電気化学を用いた水素の圧縮方法は十分な発達段階に達した。

この方法で、水素の圧縮と高純度化が得られる。

エネルギー効率が高く、可動部が無く、動作が静かで、一段式で、拡張性がある。

圧縮は 100MPa まで可能で 99.5%以上の純度が得られる。

EHC(Electrochemical Hydrogen Compression)は結合が強く信頼性が高くコストが安い。

EHC はコンパクトで拡張性がある。

1 つのモジュールは 1 日 10Kg の水素を変換でき、アレイのトータルは 1 日 200Kg の水素変換が出来る。

アレイの外寸は 2.5m×0.75m×2.5m である。

このモジュールは水素を高純度にする機能がある。

膜は高圧水素を遮断し透過してきた水素以外のガスを遮断する。

メタン、二酸化炭素、一酸化炭素、窒素、硫化水素などのコンタミから純粋な水素だけを取り出す。

EHC は

メカカルな圧縮機と比較すると、設備投資額は十分の一、運用コストは三分の一、電気代は 6 割、稼働率はほぼ 100%、

拡張性が高く、静かでコンパクトであるため、水素の圧縮方式の新しい標準になるかも知れない。

EHC は 2011 年に 1000 気圧の圧縮世界記録を樹立して、現在でもこれは破られていない。

ロードマップは 2016 年に 1 日 2Kg の圧縮が出来る HCS48、2017 年に 1 日 10Kg の圧縮が出来る HCS100、来年度は 1 日 50Kg の圧縮が出来る HCS500 を製品化する。

HCS48 は機械式圧縮機より高かったが HCS100、HCS500 は機械式よりも安くなる。

電流密度の増加に比例して初期投資は減らすことが出来るが、電流密度が高くなった分ランニングコストの電気代が高くなってきている。

初期投資と運用コストのバランスを見て最適ポイントを見つけることが必要である。

PHAEDRUS のプロジェクトは 2015 年に始まった。HCS48 で構成されていて、オンサイトで水素の製造も出来る。

2016 年にはアムステルダムのシェル技術センターに HCS48 の最初の商業モデルが設置された。

水素の純度を高める実証を継続している。

2017 年には HCS100A のパイロットテストがスタートした。シングルセルで 400 気圧に到達した。マルチセルやスケールアップは開発中で、純度化テストは計画中である。

2017 年に 32 セルの HCS100 をワシントンにある Naval 研究所に納入した。350 気圧の水素を 1 日 2Kg 保存できる。

2018 年にはオランダの Arnhem にある水素ステーションに 120Kg/day、400/875bar、6-7KWh/kgH<sub>2</sub> の能力を持つ。

## (2-6) GRAEBENER パトリック ムエラー氏

板金微細加工のメーカー

(会場写真を削除しました。)

板金加工 成型、切断、溶接

微細加工金属板の試作から特殊生産設備まで

Graebener は 1921 年創業

今日では HYDRO.line, VERBON など油圧分野や粉碎生計技術を有する会社の親会社である。

造船、パイプ、風力発電支柱 自動車、新技術などあらゆる分野に顧客がいる。

Graebener の業務領域は試作品を作り、生産設備をカスタマイズし、顧客の成型、切断、溶接の工

程が最善になるようなコンサル業務まで行なう。

微細構造の金属板の製造経験は 15 年以上ある。

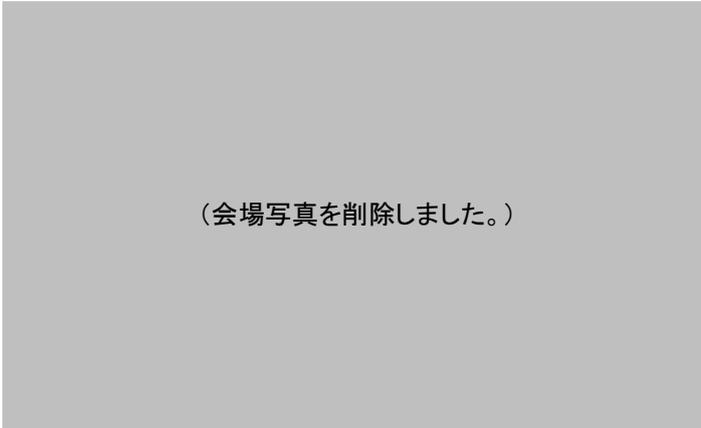
そのアプリケーションは、KT-PEM,HT-PEM,水電解装置、DMFC,SOFC などである。

Graebener には世界的に有数な試作キャパがあり、少量生産にも対応する試作工場には 1500 トンから 10000 トンのプレスマシンがある。

50 ミクロンのメタルプレートで 0.75mm のピッチで 0.25mm の深さで綺麗な成型を実現する。

同じく 50 ミクロンのテストセルでは成型と溶接が綺麗に実現できる。

## (2-7) pdc ジム パトレッキー氏



圧縮機のメーカーだが小型水素ステーションの提案を行う

pdc は圧縮機のメーカーで 1977 年創業。40 年の歴史を持つ。

毎年利益が出ている。

工場はペンシルバニア州の Southeastern にあり拡張が進んでいる。

世界中にサービス網を張り巡らせて、部品在庫を持って即納に勤めている。

既に 3700 のプレス機械を納入した。

小規模ステーションの手ごろな水素価格を目標に Simple Fuel を開発した。

少量で従来と同じ供給方法の水素は高額である。(例えば水素ガスボンベのトレーラー)

燃料電池車に供給する水素価格は小さい設備では手ごろな価格にならない。(フォークリフトへの充填は 50 台以下、自家用車の台数はまだ極めて少ない)

そこで Simple Fuel を提案する。

これは簡易型水素ステーションで必要に応じ拡張が出来、1 日に 5~10Kg の水素を提供し、少ない面積で置くだけでよい。

Simple fuel のスペックは、

- ・電気と水を入れて水素と熱を出力する。
- ・1 日に 5-10kg で 350/700 気圧の水素を作る。
- ・充填時間は 3 分から 15 分である。
- ・SEAJ2719/ISO14687H2 の純度

使い道として

- ・狭い面積、置くだけですぐ使える。
- ・フォークリフトなどの集積場所の室内環境に設置
- ・自動車充填場の室外設置
- ・10～20 台の FCV に充填
- ・配送される水素や液体水素より安価
- ・要求に応じて拡張が出来る。

Simple fuel は以下の投資写真を参照

(会場写真を削除しました。)

[https://www.pdcmachines.com/wp-content/uploads/2019/04/Simple\\_fuel\\_brochure\\_5\\_SM2.pdf](https://www.pdcmachines.com/wp-content/uploads/2019/04/Simple_fuel_brochure_5_SM2.pdf)

Simple fuel は倉庫のマテハン機器が FC になればとても都合が良い充填装置になる。

既にペンシルバニア州や、日本の岩手県に東京貿易経由で納入している

11 月にはマサチューセッツ州に納入予定である。

### (2-9) Hydrogenious ドミニク ヘルツォグ氏

(会場写真を削除しました。)

LOHC の説明、千代田化工機に類似だが技術詳細の説明はなかった

<https://www.hydrogenious.net/index.php/en/hydrogen-2-2/>

コマーシャルスケールの LOHC (オイル) による水素供給

従来のシステムは限界に達してきたので新たな CO2 削減策が求められている。

ロスアンゼルスタイムズによると、南カリフォルニアではここ 10 年でもっともひどいスモッグに 87 日間も覆われている。

電気自動車はすべての方程式のひとつに過ぎない。

その解決策は水素である。

水素は地球上どこにでも存在していて、なくなることはない。水素は大変高い質量エネルギー密度を持っているエネルギーキャリアである。

水素は色々な材料で作ることが出来る柔軟なエネルギー源である。

水素は異なった技術によって使われ、使い勝手にも柔軟性がある。

しかし水素を簡単に扱うことは大変困難である。

水素は高圧にしたり液化したりして運ぶ。

貯蔵と運搬はお金がかかる。

一般的には安全ではないと思われがちで、しばしば必要以上の安全対策が施される。

Hydrogenious は水素を簡単に扱える提案をする。

それは LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier)テクノロジーである。

キャリアはジベンジルトルエンとマルロテルムである。

水素がキャリアにくっつく標準的な触媒反応をハイドロジェネーションと呼んでいる。

発熱反応である。

水素が化学的にくっついて LOHC となることにより色々なメリットがある。

化学的に結合された水素で、爆発や発火の危険性はなく、液体なので簡単に扱える。

LOHC は繰り返し使えて、1?の LOHC で 57kg の水素を保存できる。

現存する保存のための設備がそのまま使える。

再び水素分子に戻すには、特殊なデハイドロジェネーションプロセスで水素を分離する。

LOHC に熱を与えることで実現する。

一号機は 2016 年にドイツの Faunhofer IAO で運用が開始された。

一時間に 3kg の水素を LOHC にすることが出来、57kg の水素を保存できる。

アメリカのチャーリントンにある水素サイトでは 2 つのシステムが商用運用されている。

商用のテスト運用で発電機の冷却用として水素が供給されている。

2019 年に 3 つ目のシステムが導入される。

LOHC は高密度で水素が保存でき運搬費用は大幅に削減できる。

250 気圧の水素 300kg を一台のトレーラーで運ぶことに対して、28?の LOHC に含まれる 1600kg の水素を一台のトレーラーで運ぶことが出来るのでトラック 5 台に対して 1 台で済む。

LOHC は水素の新しい安全基準として定義され、燃え上がらないし、爆発もしない。

水素をオイルのように保存できる。

LOHC が安価になる要因として、運賃が安い、凝縮できる、既存の保存施設が使える、安くてよく知られた水素キャリア、危険ではない。

LOHC は中規模大規模の水素ステーションに大変有利である。

そのメリットは、

頻繁に水素ステーションに運ばなくても良い

バルク状の保存でもローコストである  
ボイルオフのロスがなく減ることがない  
安全に扱える  
地上での保存でも設置面積が小さい  
油のような扱いなので社会に受け入れられやすい

Hydrogenious Technologies GmbH はケミカル水素貯蔵の先駆者である。  
この会社は 2013 年に Daniel Teichmann 博士当によって始められ、65 人の社員がいる。27 の特許を有する。

この会社の製品は水素を保存するストレージプラントと、水素を取り出すリリースボックスからなる。

### (2-10) borit ジョーチム クロエマー氏

高精度精密板金



高精度の金属板部品と組み立て

borit は先進的で効果のある薄い金属板の部品（燃料電池と電解装置）の製造環境を開発することによって、そして優れた金属成型、切断、溶接、塗装とシール技術を提供することによって水素の経済性に貢献する。

borit は 2010 年に OCAS をスピンアウトして操業した。  
主な株主は FININDUS と PMV TINA である。

borit は溶接された電極ユニットを塗装と封印を施して顧客に提供するので顧客はスタックの組み立てにそのまま使用できる。

borit は製造工程を一工程ずつ区切っていて、顧客と直接対話しながら工程をカスタマイズ出来るようにしている。コストと品質にこだわった製造に柔軟に対応している。

borit は成長部品を取り入れながら試作品から拡張技術と設備によって大量生産品まで対応する能力を持っている。

主な製品は燃料電池と水電解装置である。

燃料電池は、

- ・LT-PEM,HT-PEM,AFC,DMFC;電極板、空冷、水冷部品、溶接 Assy、塗装、シール等
- ・SOFC;相互接続、HT 熱交換器

水電解装置は、

- ・PEM;電極
- ・アルカリ;電極、セパレーター
- ・SOFC;相互接続

borit のトレードマークの Hydrogate フォーミングとは、

- ・従来の成型の代わりに水静圧を取り入れている
- ・非常に均一に圧がかかる
- ・ピーク負荷がない
- ・材料の成型能力の最適な条件で行なう
- ・色々なデザインが可能
- ・基本的に 1 回ストロークで成型する
- ・耐久性や平坦度の品質が高い
- ・最低 50 ミクロンまでの厚さに対応し、幅広い金属のグレードにも対応する。
- ・金型も 1 つで済むのでコストも時間も節約できる。

borit の Hidrogate フォーミングは開放構造のため、

- ・コイルからの製造が出来
- ・サイクルタイムが短く
- ・生産性がよく
- ・連続生産に最適である

borit の工場はベルギーのギールにあり工場スペースは 3500 m<sup>2</sup>、事務所は 5 0 0 m<sup>2</sup>である。

追加の工程は

- ・漏れ検査は全数検査で、3 チャンネルで圧力低下を測定する
- ・洗浄は、蒸着コーティングに必要で、規格に準拠した洗浄を実施している
- ・QA は、複数箇所寸法を測定するが、レーザー式の CMM,チャンネル形状を測るスタイラス、3D 顕微鏡で溶接の品質や正極負極の位置測定を行なう。

デジタル化のワークフローは材料投入から製品が出てくるまで一貫している

ペーパーレスですべての工程でデータの追跡が出来品質管理システムに接続されていて継続改善をしている。

一貫生産のビジョンは、  
現状は、

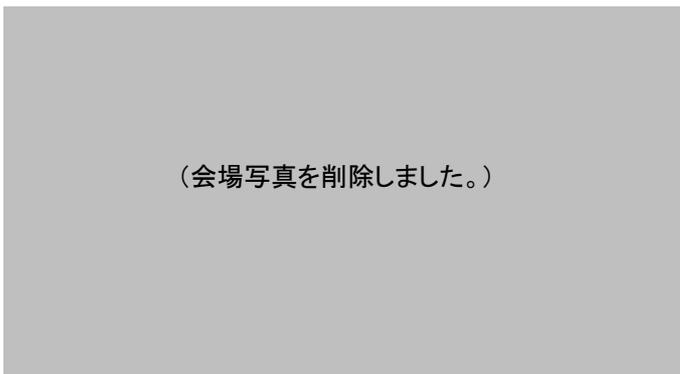
一年間の製造キャパは 50 万枚である。Hydrogate 成型ラインはコイルの自動巻きが出来、数箇所レーザー自動切断ラインがあり、ロボット溶接ラインとレーザー溶接スポットがある。そしてマーキング、漏れ試験、品質検査、梱包である。

次世代では、

すべて自動化した並列ライン、下流工程の統合、OEM 顧客との計画段階からの密な連携、2020 年に百万枚と現在の倍増を目指す。

### (3-1) 水素関連装置の規則と基準の概要

カリフォルニア燃料電池パートナーシップ ジェニファー ファミルトン氏



(会場写真を削除しました。)

燃料電池の普及と規格に関する公共団体の活動紹介

カリフォルニア燃料電池パートナーシップ (CaFCP) は 1999 年に設立され  
1999 年～2003 年は科学展示会  
2004 年～2007 年は実車のデモンストレーション  
2008 年～2012 年は市場の基礎固め  
2013 年～2016 年は市場投入し  
2017 年～は市場の初期段階としてその拡大に取り組んでいる。

カリフォルニア燃料電池パートナーシップとは

1999 年に設立されたカリフォルニア燃料電池パートナーシップは、水素を動力源とした燃料電池車の市場拡大のため業界/政府の協力を得て設立された。

メンバー組織から選出されたスタッフは常設委員会やプロジェクトチームに参加し、技術の市場投入に合わせて車両、水素ステーション、規制、についてひとつずつ確実なものにしていく。

9月1日時点でのアメリカ全土の燃料電池車の登録台数は5,179台、カリフォルニア州のFCバスは24台、水素ステーションは35箇所設置されている。

また、カリフォルニア州では現在以下の追加計画が進んでいる。FCバスは29台、FCシャトルが4台、水素ステーションが29台。

カリフォルニア州では以下の行政命令が出された。

- 1、充電や水素充填が手ごろな価格で出来て、すべてのドライバーに対してより行きやすいこと。
- 2、実行内容は経済を強くしてカリフォルニア州に職を作り、インフラが広がること。
- 3、2016年のZEV（ゼロエミッション車）のアクションプランを自家用のZEVインフラに広げ、とりわけ低所得者層や恵まれない地域に広げること。
- 4、2030年までにカリフォルニア州でZEVを500万台にすること。
- 5、200箇所の水素ステーションの実現に拍車をかけること
- 6、25万箇所の充電設備の設置を実現すること。

カリフォルニア州の目標は、2030年までに1000箇所の水素ステーションと百万台のFCVを達成することである。

現在カリフォルニア州には8000箇所のガソリンスタンドがある。1000箇所の水素ステーションが出来ればそれに相当する。

水素の重要なインフラに関する規制や標準は「International Fire Code」と「NFPA 2 Hydrogen Technologies Code」による。

#### International Fire Code (IFC) の概要

火災、爆発、危険物の取り扱いや、建物や施設の使用や占有から生命や財産に危険な条件に対処する為の現代的な最新の規則の必要性が望まれる。International Fire Code は、大小のすべての地域社会の公衆衛生と安全を守るように設計されている。

NFPA 2 : Hydrogen Technologies Code の最新版では、水素の安全な保管に関して記載してある。

NFPA 2 : Hydrogen Technologies Code の2016年版は、圧縮ガスまたは極低温液体の水素の生成、設置、保管、配管、使用、および取り扱いに適用される火災および生命安全要件をまとめたものである。

水素の保管、取扱い、使用の許可を確認する際、または既存の施設を検査する際に検査員が参照することになる。

設計者、エンジニア、請負業者、施設管理者、および次のようなアプリケーションに関連する安全を担当する担当者にとっても不可欠である。

- ・バルクおよび非バルクの水素貯蔵

- ・研究所における水素の使用
- ・車両修理に伴う車両用水素の調達と給油
- ・高分子電解質膜（PEM）燃料電池とフォークリフトを使用したバックアップ電源システムなどの燃料電池発電システム

- ・水素の電解生成を含む燃焼プロセスおよび特殊雰囲気を含む用途

2016年版の主な変更点は次のとおり。

- ・システムの安全な使用を可能にする水素装置エンクロージャについて
- ・水素燃料電池車修理ガレージの新しい要件を満たす燃料補給について
- ・爆発の危険性および実験室における保護の補足情報
- ・etc

カリフォルニア州では NFPA 2 に州規則が追加され、3年ごとに見直しが見込まれる。

各国のFCV、水素ステーションの目標値は以下のとおりである。

カリフォルニア州；FCV； 2030年までに100万台、水素ステーション：2025年までに200箇所、2030年までに1000箇所

日本；FCV：2020年までに4万台、2030年までに80万台、水素ステーション：2020年までに160箇所、2025年までに320箇所

韓国；FCV：2020年までに1万台、2030年までに63万台、水素ステーション：2020年までに100箇所、2030年までに520箇所

中国；FCV：2025年までに5万台、2030年までに100万台、水素ステーション：2025年までに300箇所、2030年までに1000箇所

フランス；FCV：2020年までに1000台、水素ステーション：2019年までに100箇所

ドイツ；水素ステーション：2023年までに400箇所

水素の安全性は他の可燃性ガスのように次の安全基準に従う。

- 1、危険を取り除いて緩和基準を定義する。
- 2、システムが完璧に動作していることを保証する。
- 3、水素濃度が上がらないように適切な換気機能を施す。
- 4、排気機能を満たす。
- 5、水素漏洩を検出して危険回避する。
- 6、作業員への教育。

一般的な水素ステーションの安全管理

構成要素

・安全マージンとリスク解析（HAZOP,FMEA etc.） Hydrogen Risk Assessment Model(HyRAM)は"[h2tools.org](http://h2tools.org)"で入手可能。

- ・水素とコンパチの材料、水素の脆化を防ぐため。
- ・確立された法規制に従う (IFC, NFPA2)

その他のシステム

- ・緊急停止
- ・取り外せる充填ホース
- ・充填設備の衝撃センサー
- ・自動停止装置付の漏洩検出
- ・システムの冗長分離

役に立つサイトの紹介

Hydrogen Tools "h2tools.org"

カリフォルニア燃料電池パートナーシップ "https://cafcp.org/"

### (3-3) Enapter バイテア コーワン氏

水電解装置のメーカー

(会場写真を削除しました。)

Enapter は山間部や携帯基地局、水素ステーションなど世界中で使われている水電解装置のメーカーである。

AEM 電解装置の設計から製造まで行っている。

拠点はドイツのベルリン、イタリアのピサ、タイのチェンマイにある。

Enapter の AEM 電解装置は 1 つの小型モジュール 35 気圧の水素を一時間に 500 リットル作ることが出来る。

そのモジュールを組み合わせることにより大型化を図ることが出来、最大では 48Kw を消費することで一時間に 10m<sup>3</sup> の水素製造が可能になる。

コストパフォーマンスが高い S-M アプリケーションである。

AEM とは ANION EXCHANGE MEMBRANE で陰イオン交換膜の略である。

Enapter の水電解装置はエネルギー管理システムを装備してどんな水素エネルギーのセットにも使用できる。

太陽光、風力発電、水素量、水量、電力消費量などと接続して最適な水素貯蔵のシステムが構築できる。

それを実現しているのが Smart Hydrogen Energy でリモート監視、リモート制御、不具合の予測と注意喚起などを実行する。

スマホで非常に簡単に誰にでも操作できる。

マレーシアの DiGi Telco は 1 時間に 1000 リットルと (1EL 1000=1000L/h)、5Kw の燃料電池を有して、再生可能エネルギーで常時運転している。

タイの Phi Suea House はオフグリッドの個人住宅で 2EL 1000=2000L/h、7.5Kg(130Kwh) の保存が出来、4Kw の燃料電池でまかなっている。完全にエネルギー的に独立している。

フランスの Refuge du Col-du-Palet は季節間の水素エネルギー貯蔵を実現している。

1EL= 500=500L/h で、5Kg(90KWh)の水素を貯蔵でき燃料電池は 2.5Kw である。

水素貯蔵は将来エネルギー貯蔵量が多い解決策になる。

Enapter はエネルギーの独立性に関して革命を起こし、必要な方々にエネルギーを作って貯めて使うことを実現する。

#### (3-4) Nel マティアス フォーク氏

3 回目 水・アルカリ電解装置の説明

(会場写真を削除しました。)

Nel は PEM とアルカリ両方の水電解装置の技術を持っている。

ノルウエーには 9.2MW で、1 時間当たり 1940N?のアルカリ式水素発生装置が設置されている。

マレーシアには 25MW で 1 時間当たり 5500N?の水素発生装置が設置されている。

大規模な再生可能エネルギー水素のケーススタディーとしてニコラモーターが将来の自動運転、スケールアップ、コストダウンの契約を取めた。

ニコラはクラス 8 の大型トレーラーの製品化を進めており、既に数百台の予約を獲得している。トラックのリースには水素も含んでいる。

アンハイザーブッシュは 800 台の予約を入れている。

750 マイル走行出来、10 分以内に水素の充填が出来て、2021 年の発売を予定している。

ターゲットはアメリカ国内の何百もの HRS である。

CEO の Jon Lokke の談として「我々はすべての契約台数が何台になるのか見込んでいる。それは現

在の Notodden の製造キャパの何倍も大きい。一方で我々はまだオーダーに応じた工場規模の拡大に関して結論に達していない。我々は Notodden を水電解スタックの製造工場として世界一にすることをめくろんでおり、コストは 40%位安くすることが目標である。」

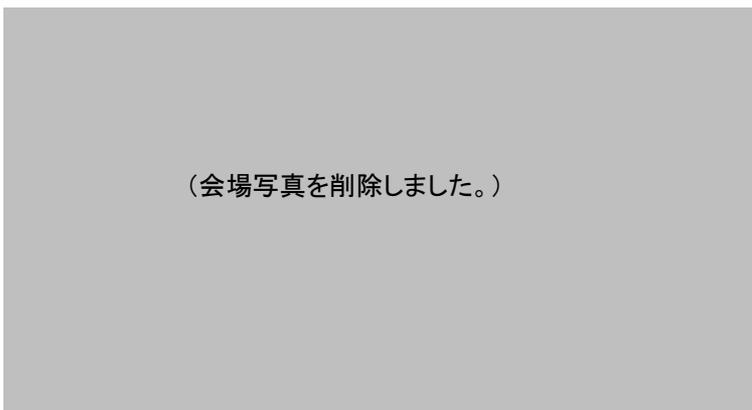
どのようにして 1GW のアルカリ電解装置を作るのか。

Notodden にある水素電解装置工場の拡張

- ・将来の製造工場の拡張のために隣地を確保
- ・大量生産のための自動化への投資
- ・要求を満たすようなサプライチェーンの構築
- ・40%のコストダウンは非常に大きいので、30%は設備投資額の圧縮で実現しなければならない。
- ・数量が大きくなれば他のシステム構成要素のコストも削減できる。

同様なコスト削減は PEM でも実現できる。

### (3-5) GINERELX ヘクター マーザ氏 PEM 式電解装置の技術リーダー



水電解装置の説明

Giner 研究所の水電解装置について

- ・GINER はコア技術が詰まった電解槽を部品メーカーに提供している。
- ・水質や安全性など工場の仕様のバランスをうまく取ることが出来る。
- ・現在 2 万台以上のユニットが稼働している。

生命維持のための酸素生成

- ・アメリカ海軍の潜水艦に
- ・20 年間返品がない
- ・高い可視化と信頼性を誇る

Giner の水電解装置は太陽光発電からの水素製造にも使われている

- ・Giner は Areva の [Greenenergy Box] に 50Kw の電解装置を出荷した。
- ・水素 1Kg 製造にかかるのは 47Kwh の省電力である。

- ・5000 時間以上の長寿命である。

Giner の水電解装置は水素ステーションにも用いられる。

2018 年にカリフォルニア州の 2 つの水素ステーションが Giner の水電解装置の採用を決めた。

製品ロードマップにおいては、1 日 24-65Kg の水素製造が出来るスタックは 2012 年から 2016 年にかけて製品化してきたが、今後 2022 年にかけて 130-260Kg のシステムをカリフォルニア州の水素ステーション向けに出して行く。

1MW クラスで 1 日 480Kg 製造できるスタックは今年度にかけて開発とシステム構築を行ってきたが来年度から PtG 向けに販売して行く。

VW/Audi の工場向けに MW のシステムを今後開発していく。また MW のスタックを複数並べて GW クラス (4800Kg~480000Kg)

のシステム構築の実証を進めて行く。

Dual Allagash は現在 4000mA/c m<sup>2</sup>、60 気圧、80℃で 7000 時間以上稼動している電気化学の圧縮プロジェクトでは\$3M をかけて可動部品なしで 900 気圧を実現する。

Giner は必要な装置を 1 つのコンテナに収めるシステム構築することが出来る。最近ではフィンランド、インド、ドイツ、スペイン、ベラルーシに納入した。

45 年間信頼性を維持してきた。

それは常に技術をリードしてシステムの総コストを最小限にしてきた実績があったから。

NASA, アメリカ海軍、ジェネラルモーターズとの長い付き合いが物語っている。そして早くから市場投入してきたからである。

電解質膜の技術の優位性は耐久性にあり、ELX という商品は 350 気圧 95℃で 3000 時間の耐久試験をクリアした。

触媒の技術の優位性はコストにある。水素ステーションがコンパクトに出来るので耐久性の高い Giner の触媒は 20 年のロングライフが可能で、1kg の水素を製造するための触媒の伸すとはわずか 1.5 セントである。

酸素発生装置は 3600psi ポンド平方インチの陰極フィード電解質スタックである。

- ・3600psi の高差圧を持った水素発生装置である。

- ・特徴的な革命は Giner Inc の時代に考えられた。それは、とても高い差圧に耐えることが出来る変わったハイブリッド膜をベースとした MEA であり、クリープを最小にするために MEA のシール部分は高いクランプ負荷の経験を生かし、好ましい電気化学の特性を維持している。この研究には\$3M の資金が出ている。

このプログラムのハイライトとしては、高圧のセルスタックは成功裏に 3600psig で 5000 時間の耐久性を持つことが出来、ユニット内外の漏れは無かった。

DOE の水素圧縮プロジェクトは、まず膜に関して、部分的にフッ素化した炭化水素となっている進化した膜を用いた高圧テストから始める。

### (3-7) NICE America Research ジェフ アレン氏



中国の水素燃料電池の動向  
紹介

NICE は 2009 年 12 月にチャイナエナジー投資公社の研究開発拠点として北京に設立された国立グリーン低炭素エネルギー研究所で、400 名の研究員からなり半数は PhD である。

NICE America は 2016 年設立で本社はカリフォルニアのマウンテンビューで社員 21 名である。ドイツのヨーロッパ本社には 150 名が在籍している。

チャイナエナジーは中国三大電力会社のひとつで中国の送電力需要の 15%を供給している。資産は \$286BB.

従業員は 35 万人。2017 年に Shenhua Group と China Guodian Group が合併して設立された。

中国政府は水素燃料電池車に高額な補助金を継続的に付けている。

普通乗用車には 330 万円、小型のバストラックには 500 万円、大型のバストラックには 830 万円の補助金が付けられる。

水素燃料電池産業分野への企業参入も進んでいて、2006 年～2010 年の 60 社から 2016 年～2017 年には 215 社に増加している。

水素燃料電池産業への投資もどんどん増えて 1.6 兆円を突破した。

2014 年に習 近平が 4 つの革命と 1 つの連携を提唱した。

エネルギー消費の革命、エネルギー供給の革命、エネルギー技術の革命、エネルギーシステムの革命である。

そして全方位国際協調を強化する。

2015 年に習 金平はパリ協定に沿って 2030 年の出来るだけ早い時期に CO2 排出量をピークアウトさせると宣言した。

中国のエネルギー政策はクリーンで低炭素で安全近代的な高効率のエネルギーシステムの開発を目指している。

水素エネルギーの基礎は中国の豊富な水素資源によるものである。

副生水素は石油化学、コークス化、アルカリ水電解、アンモニア合成メタノールその他工業製品から年間 1 千億 N m<sup>3</sup>の水素が作られている。2017 年には 1 千億 KWh の再エネが削減されたが、250 億 N m<sup>3</sup>の水素を作るのに十分な容量である。長期視点からの再エネからの水素製造は既に終わっている。化石燃料からの水素は大量の石炭が約 1000 箇所のガス化炉で生成される。2 千 500 億?の水素が毎年生み出されコストは 1N m<sup>3</sup>あたり 0.55~0.85RMB (9 円~9.5 円) である。

2017 年の全世界の水素生産量は 7680 億 N m<sup>3</sup>で中国はその 31%の 2380 億 N m<sup>3</sup>の生産量を誇る。

水素エネルギー & 燃料電池アライアンス

今年の 2 月にチャイナエナジーを主幹として中国水素燃料電池アライアンスが発足した。

中国の水素産業の開発ターゲットを以下に示す。

キーは「スケールを推進する最初の艦隊」

1、2018 年~2020 年 変革の始まり

- ・1000~5000 台の燃料電池車をデモ走行させる。
- ・100 箇所の水素ステーションを稼動あるいは建設する。

2、2020 年~2030 年 規模の拡大と商用化

- ・100 万台の燃料電池車を市場投入する。
- ・多数の水素ステーションが稼動し、建設中も含めると 1000 箇所を超える。

3、2030 年~2050 年 水素はエネルギーミックスにおいて重要な位置を占める

・水素燃料電池車と発電機の両方において大規模な運用が進む。水素エネルギーはエネルギー製造と消費の重要な技術選択肢の一つとなる。

乗用車を生産する SAIC Motor

SAIC 葉車のデザインと FCV のサプライチェーンを構築し、FCV を量産する会社である。

70MPa の水素で 430Km 走る乗用車、35MPa の水素で 490Km 走行できるミニバン、上海の公共バスは 35MPa の水素 8Kg で 100Km 走行できる。

5 年計画が進行中である。

Weichai Power は研究開発、ディーゼルエンジンの製造と販売に特化した会社である。  
8月に巴拉ードに\$163USD 投資した。  
中国の燃料電池電動車市場を意識している。  
2021年までに巴拉ードが2000台以上の燃料電池モジュールを供給することに合意した。

列車-CRRC 中国中車股份有限公司

CRRC Corporation Limited) は、中国の国有企業であり、ビックスリーと呼ばれるボンバルディア・アルストム・シーメンスの鉄道部門売上の合計を遥かに凌ぐ、世界最大の鉄道車両メーカーである

FC 列車のプロトタイプの開発が完了した。

CRRC は純燃料電池列車とスーパーキャパシター、電池、太陽光とのハイブリッド列車の製造能力を持つ。それに加えて電力システムの統合や車両所生産能力を有する。

以上

## 添付資料1-4

2018年度 海外出張報告書

報告書作成日 2018年10月25日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	H2World 2018 での韓国を中心とする燃料電池関連情報収集
4. 出張者	JEMA
5. 出張先	H2World 2018 (韓国 釜山 CECO:Changwon Exhibition Conference Center)

## 6. 日程:

2018年10月10日(水) 成田発、釜山着

2018年10月11(木)、12日(金) H2World 2018

2018年10月12日(金) 釜山発、成田着

## 7. 出張概要

### 7.1 参加の背景

NEDO 委託調査事業「燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査」として、燃料電池関連の世界の動向調査の一環として、韓国での動向調査のため H2World 2018 に参加

### 7.2 参加の目的

#### (1) フォーラム

韓国からの発表により燃料電池関連の最新情報を調査する。

#### (2) 展示会

フォーラムに併設されている展示会の出展社からの情報収集を行う

### 7.3 会議の概要

燃料電池への注力に力を入れている韓国における、国際的な水素・燃料電池のフォーラム＋展示会とのことで、期待して参加したが、日本における燃料電池エキスポの規模を縮小した様な状況であった。釜山の中心地から3-40km 離れたエリアでの開会ということが影響していると思われる。

フォーラムでの発表は、3テーマの内、1テーマのみ英語の同時通訳があったが、残りの2テーマは韓国語での発表で、同時通訳はなく、予稿集も英語表記は原則無しであった。出席者は、書くテーマとも数十名程度はいるが、海外からの出席者は10%前後と思われた。

政府要人と思われる方のH2World 開会へのメッセージがあり、国としても燃料電池に注力しており、本会議に注目していることが感じられた。

日本のNEDO からの日本の現状(政策面などが中心)について、おなじくテクノバからの技術面を中心とした講演もあり、日本の燃料電池への関心の高さを実感した。その他の講演は韓国の燃料電池メーカー大手のDoosan とSOFC 協会、カナダのHydrogenics からのものであった。

出展は、大手の燃料電池メーカーのみでなく、中規模程度と思われる燃料電池メーカー、関連部品メーカーも参加しており、燃料電池の裾野の広がりが感じられた。

### 7.3.1 国際会議での情報

・Opening: 韓国の国旗掲揚, 政府閣僚(?)からのビデオメッセージ(韓国語)

内容は不明だが、国として燃料電池をバックアップしており、このH2Worldにも関心を寄せていることが感じられた。

今回が第1 回となるが、次年度以降も継続して開催される予定とのこと。

・NEDO 原氏、テクノバ丸田氏から日本の状況について、政策面、技術面での講演があった。

・韓国の燃料電池大手: Doosan(米国UTC Power の燃料電池部門を買収し、200kW のPAFC システム(PC-25)システムをベースとした400kW PAFC システム(PureCell400)を販売を製造ラインごと買収)から、韓国を中心に販売を進めているPureCell400 の状況についての報告があった。全世界で319 ユニットが稼働中(137.4MW)、計画が71 ユニット(31.2MW)ということで、発電容量としては、日本国内のエネファームの総発電容量(0.7\*280000/1000=196MW)とほぼ同じとなっている。

技術的にはUTC Power によるPC25 から熟成された技術で、信頼性はかなり高くなってきていると思われるが、発電効率ではSOFC に大きく差をつけられており、技術的には重要な情報は特になし。



会場: CECO 外観、1階フロア



### 7.3.2 展示会での情報

#### 7.3.2.1 S-fuelcell

(1) [<http://s-power.com/> の一部門としてのURLとの位置づけ]

Ms.Lee(日本語、英語)後で日本語のPDF 資料を送ってくれる予定。

1989? GS FC から、FC 事業の閉鎖に伴い、FC 研究開発部門が独立して創業。

(2) 現在、NG,LPG,H2 燃料のPEM-FC を販売している。

(3) 富士電機のFCP100 の販売も行っている。

(4) 1kW, 6kW NG/LPG(NG 機とLPG 機とはFPS 関連の部品仕様が異なるが、筐体は同一)

(5) KR ではLPG はNG よりも高いが、JP 同様、Seoul などの大都会ではNG のパイプラインでの供給が成されているが、郊外ではNG パイプラインが無く、LPG が主流。

(6) LPG 価格は、NG より高いのもJP と同様。

(7) NG は約600-KRW/Nm3 程度と話していた。(東京ガスEF プランでも100-JPY/m3 少しなの

で、かなり安いと思われる。)

- (8) 現在Seoul 市では、延べ床面積1000m<sup>2</sup> 以上のビルでは、使用する電力エネルギーの24%以上(2018 年については? パンフレットに表が出ていたが、24%以外の部分はなんだったのか? 西暦年と思われる)を再生可能エネ、新エネで賄うことが義務化されている。  
→これにより、マンションへの小容量のFC の設置が、補助金付きで進められている。
- (9) 1kW 級(700W)機で、カタログ価格では約30M-KRW だが、補助金が約20M-KRW 付くため、PayBack が有効である。
- (10) 6kW 機2台で10kW システムでの運用が可能とのこと。
- (11) JP 同様、水素のインフラがまだ無いので、水素機は、ほぼ手作り状態、今年、チェジュ島(済州島)に(数値は聞き漏らしてしまいました)kW機分を納入した。Hybrid System を納入したとのこと。
- (12) 水素機も商品との位置付けになっているとのこと。
- (13) カタログによると日本に販売店があるとのこと@千代田区



手前：1kW 級システム

右奥：6kW\*2=10kW システム

#### 7.3.2.2 Mico

- (1) 2kW SOFC システム(TUCY プロトタイプを展示)
- (2) 小規模ビルディング向けとして開発(5-6家族用集合住宅、4-5台接続しての系統接続運転)
- (3) 韓国内では、逆潮運転が可能であることから、ほぼ定格出力での一定運転がメイン
- (4) 現在、約40M-KRW/ 台だが、まだ少しCD の余地があると考えている。  
[\[https://d.wsew.jp/\\_novadocuments/431923?v=636522698032170000\]](https://d.wsew.jp/_novadocuments/431923?v=636522698032170000)

#### 7.3.2.2 MTFC [http://www.mtfc.co.kr/]

- (1) 1.5kW、5kW SOFC システム  
まだ1stプロダクトとのこと。実際の運転データをディスプレイで表示していた。  
日本の企業とコラボレーションしたいと考えているとのことだが、FC システムメーカーは難しいと思う。  
その他の企業、周辺機器、システムを扱っている会社がよいのでは無いかと考える。JEMA のhpにJEMA の会員企業(燃料電池以外の企業が多いが)のリストがあると伝えた。
- (2) 来年にはEU 向け2MW/年の生産体制を整える予定とのこと
- (3) BlueGEN-K  
→CFCL→SolidPower からBlueGEN を購入しているものと思われる。  
Kタイプの初号機と言っていたが、何がオリジナルと異なるのかは詳細不明。
- (4) 試験場での運転データを会場でOn-Line 7で表示させていると言っていた。安定した出力での

運転ということで出力を1h毎のプロットで示していた。

- (5) 日本の企業とコラボしたいと考えているとのこと。  
→このスタックを使いたいなら、FC 企業ではなくアプリを開発する会社とか、FC を使うシステム企業の方がよいのではないか。
- (6) 複数台組合せて大容量化したシステムを現在は提唱為している。

### 7.3.2.3 ProPower

- (1) フォークリフト用PEMFC, DMFC。  
DMFC が長期間の開発実績あり、DMFC が主力製品。



フォークリフトに実装された燃料電池モジュール

### 7.3.2.4 P&P

- (1) 1kW SOFC PP300T  
FC の試験装置の会社として長年(10数年)やってきたが、最近、独自技術でSOFCを製造した。
- (2) 並列運転による高出力化を想定している。エネファームの様な家庭用をねらっているということでは必ずしもない。
- (3) 日本のEF の技術は評価しており、スタックの購入が可能であれば考えたい。
- (4) CSA 以外にも回転機等の補機についてメーカー名を教えてください。
- (5) 韓国では各社で開発をしているために、補機類の開発が厳しい。  
(他の会社では、EUと似た開発形態で、FCはFCで開発し、補機類は仕様の合うものを購入しているという話があった)



#### 7.3.2.5 Bumhan

- (1) コンプレッサが主要製品だがFC 事業を立ち上げた。  
カルックス (Callux だったか?) を買収し, Hyundai 系列の (Building Tech と言っていたか?) 会社も加えてFC 事業を開始。
- (2) 小規模ビルへの設置を想定
- (3)  $\eta_e=35\%$ ,  $\eta_Q=50\%$  熱はフルには使い切れないと考える。
- (4) 液化天然ガスが燃料と言っていたが、詳細不明。
- (5) 現在、20unit が設置されている。
- (6) ハウスユースは電気代が安い韓国では利益が出ない。日本は電気代が高いので、状況が異なると考えている
- (7) 潜水艦、海中探査機 (UUV) 用、FL 用

#### 7.3.2.6 KCERACELL [ <http://www.kceracell.com/> ]

- (1) パンフレットもらったのみ。人がおらず話聞けず。  
hpによれば”a company specializing in parts and materials for SOFC”とのこと。

#### 7.3.2.6 Doosan

- (1) 数年前から製品化されていた機種種のラインナップが増えたと思われる。  
(説明員が少なく、説明を聞くことが出来なかった。)



以上

## 添付資料1-5A

2018年度 海外出張報告書

報告書作成日 2018年11月11日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	Power2Gas Conference
4. 出張者	パナソニック
5. 出張先	Crowne Plaza Copenhagen Towers (コペンハーゲン)

## 6. 日程：

- 2018年10月14日(日) 日本発、ウィーン着
- 2018年10月15日(月)~16日(火) その他調査
- 2018年10月17(水)-18日(木) Power2Gas Conference
- 2018年10月19日(金) ~25日(木) その他調査
- 2018年10月26日(金) ミュンヘン発、27日(土) 日本着

## 7. 出張概要

### 7.1 出張の背景と目的

再生可能エネルギーの拡大による過剰電力の有効活用として水電解による水素製造が注目され、特に欧州では水素のみならず、メタン化して天然ガスパイプラインに導入し燃料として利用しようとする方法が検討されている。

燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査の目的である燃料電池システムの基幹部品の共通技術の抽出において、改質器もスタックと並ぶ基幹部品である。

燃料電池システム、特に定置用燃料電池システムでは天然ガスやプロパンガスから水素リッチガスを製造するための改質器は基幹部品である。

Power to Gasにおいても、水電解で得られた水素を用いてメタンガスを製造することが検討されているため本コンファレンスで特にメタネーションのための改質器に要求される性能等の情報を得ることを目的として参加する。

### 7.2 コンファレンス概要

水電解を用いた Power to Gas が非常に注目を集めていることを背景に非常に多くの研究者、企業関係者が参加していた。

日本からの参加は比較的少ないように思われたが、岩谷産業欧州事務所、丸紅欧州会社、(株)イワテック、デノラ・ベルメック、三井金属鉱業などからの参加者があった。

### 7.3 メタン化に関する発表

2 日間に亘り 27 件の発表があり、その内の 10 件がメタン化に言及した発表であった。

そのなかでも、やはりシンガスやケミカルプラントの触媒技術の有する HALDOR TOPSOE 社（デンマーク コペンハーゲンに本社を置く）からの発表は注目すべきであろう。

#### (1) TOPSOE 社の発表

過去トプソ社は SOFC などの開発も行っていたが、現在本分野からは撤退し燃料電池技術としては SOEC（水電解）のみを開発している。

触媒技術を持つ企業であることもあり、水素から合成できるメタン以外にもアンモニアやガス製造の観点からの高純度 CO の電解による合成法などにも触れていた。また欧州では豊富に得られるバイオガスから高純度メタンを製造する反応についても報告された。右図はバイオガスからのメタン合成の実証プラントである。

(図面を削除しました。)

具体的な合成プロセスは右下のように、バイオガスに SOEC で得られた水を含む水素を加えメタネーターでメタン化する。

データからみると高純度メタンが得られている。日本は、バイオガスの生産量が欧州と較べると少ないが、下水処理場などで得られるバイオガスから高純度のメタンを得ることは、余剰電力によって得られた水素の活用法としては活用できると考えられる。

また右に示す共電解の開発についても紹介があった。

しかし共電解がどの程度のレベルで開発されているのについては言及されず、提案レベルの可能性もある。

さらに下図に示すような H<sub>2</sub> と CO の反応によるメ

(図面を削除しました。)

タン化の発表もされているが、具体的なデータは示されなかった。 本法によるメタンガス合成には目新しさはないと考えられる。

(図面を削除しました。)

(2) Uniper 社 (ドイツ エッセン) の発表

欧州の HORIZON 2020 Research and innovation programme からのファンドで

以下の 3 サイトで実証試験を実施中

Falkenhagen (ドイツ ベルリンの近郊)

Solothum (スイス ベルン近郊)

Troia (イタリア ナポリの東)

・実証期間は、2016 年 3 月から 4 年間

-Falkenhagen での実証状況-

・触媒反応による合成メタンガスの生産 ; 57/m<sup>3</sup>/h

外部からのバイオガスからの CO<sub>2</sub> 量 ; 52.5m<sup>3</sup>/h

・合成されたメタンガスは、ガスパイプラインに導入

カールスルーエ工科大学と共同実施触媒についての情報はなかった。

(図面を削除しました。)

右は、Falkenhagen での実証

(図面を削除しました。)

<https://www.uniper.energy/storage/what-we-do/power-to-gas>

この他、欧州では以下のプロジェクトで P2G (メタン化) が開発されている。

① Balance プロジェクト

再生可能エネルギーの普及に伴う代替エネルギーやグリッドの自由度アップを狙うプロジェクト  
CEA(フランス)、ENEA (イタリア)、EPFL(スイス)、VIT (スウェーデン)、DTU(デンマーク)などが  
参画しており、本発表はバーミンガム大学 (UK)

P2G のプロセスコンセプトに特に他プロジェクト等との違いはない

メタン化反応は、サバティエ反応やフィッシャー トロプシュ法を挙げており、特に目新しさはない。

② Pentagon プロジェクト

プロジェクトリーダーは、Exergy Ltd.社 (UK)

発表した HSR (スイスにある応用科学の大学) は、水電解を SOEC で開発中  
を用いたメタン合成

SOEC は、10kW クラスの小型である。

本プロジェクトでは、CO<sub>2</sub> 源はバイオガスも挙げているが特には限定しておらず具体的なデータも示されなかった。

メタネーション条件は、5～9.5 Barg 下、250℃～300℃

プロジェクトパートナーには、アウディも記載されている。

SOEC については、2019 年 1 月に EPFL によって設置されるとのこと

(図面を削除しました。)

以上

## 平成 30 年度 海外出張報告書

1. 件名	固体高分子型燃料電池利用高度化技術開発／燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 企業名	一般社団法人日本電機工業会
3. 出張目的	バイオメタネーションプラント (Biocat) 見学 Power2Gas Conference 参加
4. 出席者	
5. 開催場所	Copenhagen (Denmark)

## 6. 日程表

10月15日(月)	成田空港 発 - フィンランド ヘルシンキ - デンマーク コペンハーゲン 着
10月16日(火)	バイオメタネーションプラント (Biocat) 見学
10月17日(水) - 18日(木)	Power2Gas コンファレンス参加
10月19日(土)	デンマーク コペンハーゲン 発 - フィンランド ヘルシンキ
10月20日(日)	- 成田空港 着

## 7. 見学概要

## 1. バイオメタネーションプラント (Biocat) 見学

Copenhagen近郊Avedoreのバイオガスパーク内のバイオメタネーションプラント (BioCat (1MW) 図1参照) の見学に参加した。

同プラントはデンマークの Biocat プロジェクトで Electrochaeta 社により Biofos 社の下水処理場に建設され、下水処理場から作られる消化ガス中の CO<sub>2</sub> をメタンに変換するシステムである。システム構成は図2に示すようなもので下水処理場からの消化ガスあるいは CO<sub>2</sub> と水電解による水素をメタン菌反応槽に供給しメタンを生物学的に合成する。

本方法は水素、CO<sub>2</sub> を用いた化学的メタネーション反応 (Sabatier 反応) と比較して表1に示すような特長を有する。システムのエネルギー効率は50%程度とのことであったがシステム構成が比較的シンプルなため低コスト、バイオガスや低純度の水素から各種後処理なしに高純度のメタン合成が可能、経済的に小規模システムでも実現性があるとのことであった。このような特徴を有するため、欧州ではこのタイプのプラントが複数 Power to CH<sub>4</sub> のデモプラントとして稼働している。なお、同システムのメタン菌はシカゴ大学の Laurens Mets 博士により育成されたものである。

図3に実際のプラントの写真を示す。下水処理場からのバイ



図1. BioCat プラント位置

出典: Google map

オガスはまず図 3. a に示されるガスクリーンナップ施設で処理されその後、バイオメタネーション塔（図 3. b）で電解水素と合わされメタンを生成する。電解装置は当初 1MW と言われていたが実際はHydrogenics 製 600kW システムとのことであった。17日のコンファレンスでのHydrogenicsの発表では2台の電解装置が並んでいる写真が示されたので、何らかの理由で1台撤去されたようである（図 4 参照）。見学ではプラントの定量的な説明は少なかったので、見学後文献調査した結果、建設当初のプラント性能等の試料が入手できたので参考までに表 2 に示す。

表 1 生物学的メタネーションの特長

	Sabatier 反応	生物的メタネーション
運転温度	300~400°C	60~65°C
H <sub>2</sub> S, O <sub>2</sub> , KOH 等の汚染に対する耐性	低い	高い
生成メタンの品質	CO などが存在。	メタンの選択性が良い。
システムの複雑さ	複雑	シンプル
スケールビリティ	低い	高い

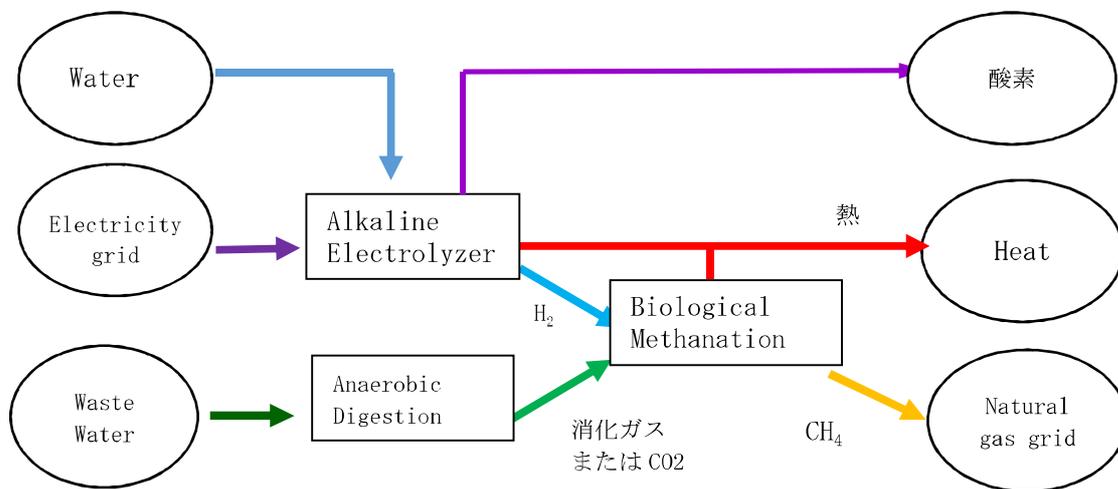


図 2. Biocat プラント構成

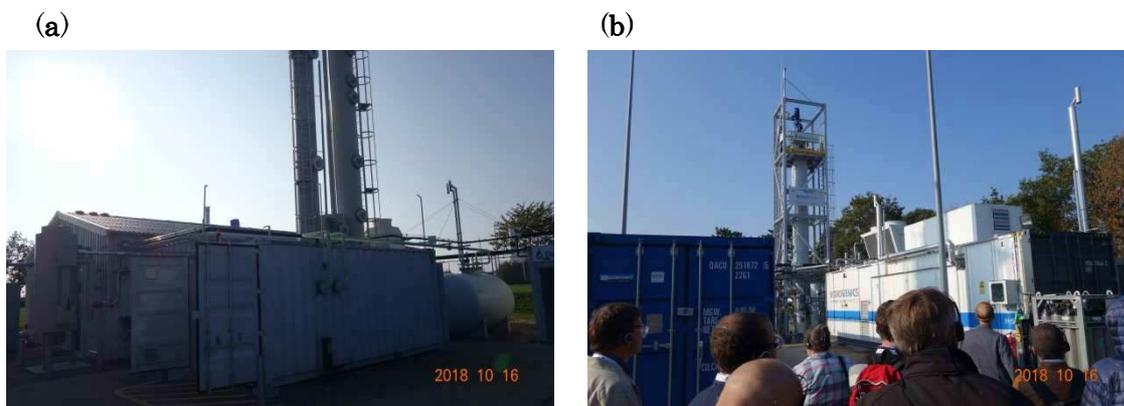


図 3. Biocat プラント

- (a) : バイオガスクリーンナップ施設、手前のコンテナはガス組成等の計測設備
- (b) : バイオメタネーション反応塔（中央）、600kW アルカリ水電解装置（右）

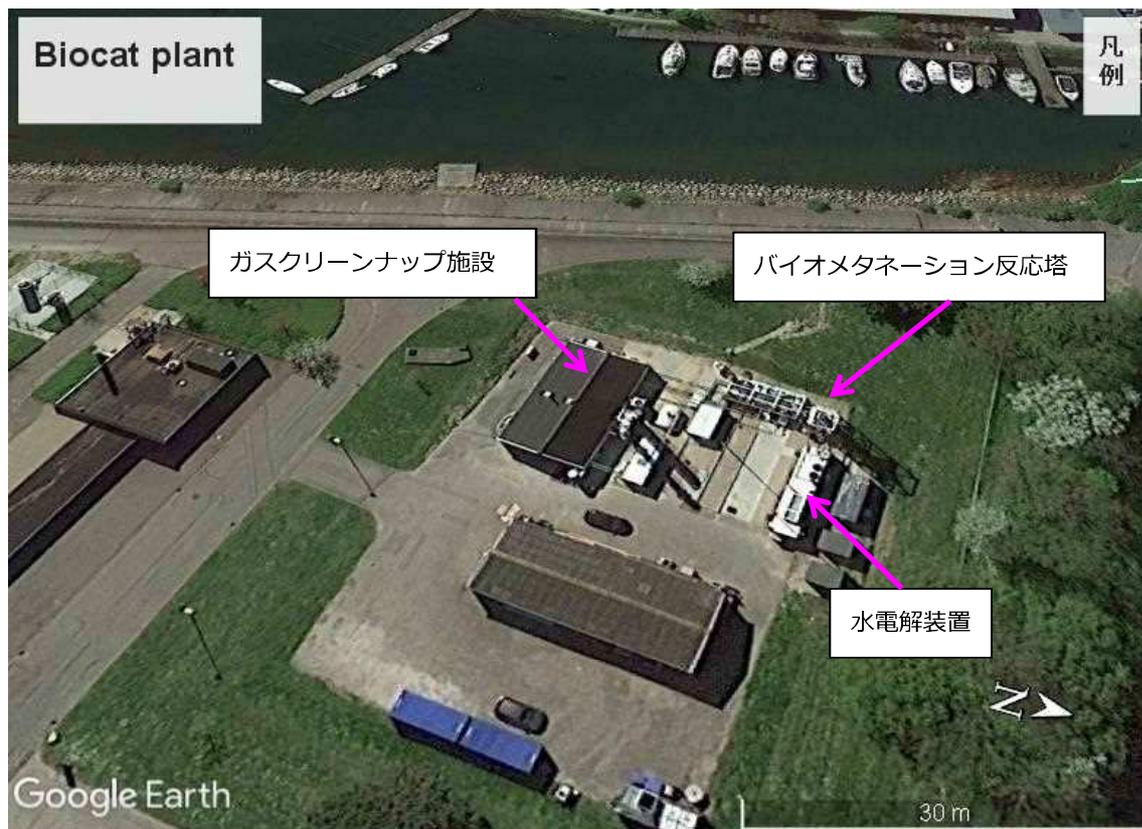


図4. 2018.6月時点での Biocat プラント 出典:Google Earth

表2 (参考) BioCat バイオメタネーションプラント

建設期間	2014～2016年
運転期間	2016年4月～2018年12月の予定
プロジェクト予算	49.9M DKK (6.7 M€) 55%を ForskEL が支援。
アルカリ電解装置	
容量	1.2 MW
電力消費量	5.5 kWh/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>
水消費量	0.8 L/h
最大水素生成量	200 Nm <sup>3</sup> /h
運転圧力	13 bar
部分負荷対応範囲	4～100 %
メタネーション部分	
反応器タイプ	分離型
最大水素供給量	200 Nm <sup>3</sup> /h
最大バイオガス供給量 (35% CO <sub>2</sub> 、65%CH <sub>4</sub> )	60 Nm <sup>3</sup> /h
最大CO <sub>2</sub> 供給量(純CO <sub>2</sub> )	50 Nm <sup>3</sup> /h
最大バイオメタン生成量	60 Nm <sup>3</sup> /h
生成バイオメタン中のCH <sub>4</sub> 濃度	98 %以上

生成バイオメタン中の H <sub>2</sub> 濃度	2 %以下
生成バイオメタン中の CO <sub>2</sub> 濃度	1 %以下
生成バイオメタン中の H <sub>2</sub> O 濃度	40 ppm 以下
運転圧力	9 bar
運転温度	63 °C
排熱温度	58 °C
トータルシステム効率	
電解装置の電力-水素変換効率	51 %
電解装置の電力-熱変換効率	20 %
メタネーションの水素-メタン変換のエネルギー効率	84 %
メタネーションの水素-熱変換のエネルギー効率	15 %
電力-メタン変換のトータルエネルギー効率	43 %
電力-メタン、熱変換のトータルエネルギー効率	70 %
その他のシステム性能	
コールドスタート起動時間	60 分
ホットスタート起動時間	15 分
停止時間	1 分以下
コスト	
電解装置	2.1 M€
メタネーション	1.75 M€

#### 関連キーワード

\*Biofos A/S ; Copenhagen とその周辺都市が株主のデンマーク最大の排水処理会社。デンマーク郊外の Lynetten, Avedore, Damhusaen に下水処理場を所有し Copenhagen の下水を処理するとともに CO<sub>2</sub> 排出削減を目指し下水処理の過程からバイオガス、熱、電力を生産、販売。2014 年からは生産エネルギーが下水処理に要したエネルギーを上回っており 2017 年には下水処理に投入したエネルギー (56,576MWh) の 1.45 倍のエネルギー (82,139MWh) を生産。

\*BioCat ; Energinet.dk (国営送電会社) による ForskEL グラントプログラムで実施されるバイオメタネーションデモンストレーションプロジェクト。Electrochaea 社により建設、実証。プロジェクトパートナーとして Audi、Hydrogenics、NEAS Energy、HMN Naturgas、Biofos、INSERO が参加。

\*FutureGas ; Innovation fund Denmark の支援によりガスシステムと電力システム、交通システムの統合の促進、長期的には天然ガスや他の化石燃料を代替する低コスト再エネガスの実現を目指すプロジェクト。Energinet.dk など 18 の機関が参加し 2016~2020 まで実施予定。

## 参考文献

1. <http://biocat-project.com/>
2. [https://futuregas.dk/wp-content/uploads/2018/06/FutureGas-WP1-Deliverable-1.1.1.-Technologies-and-status-of-methanation-of-biogas-2017\\_Final.pdf](https://futuregas.dk/wp-content/uploads/2018/06/FutureGas-WP1-Deliverable-1.1.1.-Technologies-and-status-of-methanation-of-biogas-2017_Final.pdf)

## 2. Power2Gas コンファレンス参加

### 2.1 全体概要

コンファレンスでは1日目14件、2日目13件の発表があった。内容は表3に示すとおりで、再生可能由来電力を利用した電解による水素、メタン等の合成技術、合成システムの技術開発概要を中心に Power to Gas 技術開発の現状、各国あるいは研究機関等での R&D の取組概要、有望分野での用途展望などの発表があった。

電解技術に関してはアルカリと固体高分子型電解については水素、およびバイオマス由来の CO<sub>2</sub> と電解水素を用いるメタネーション技術の発表、特にメタン菌を用いる生物学的メタネーションの発表が多かった。SOEC については SOEC は CO<sub>2</sub> の直接電解も可能なため H<sub>2</sub>O と CO<sub>2</sub> の電解による合成ガス生成を経てメタネーションを行う発表がほとんどであった。

Power to Gas 技術開発の現状などについては例えば発表 101 では、出力が変動する太陽光発電、風力発電等の大幅増加に対し出力変動に柔軟に対応できる電力グリッドの必要性と電力貯蔵、セクターカップリング（電力グリッドとガスグリッドとのカップリング、余剰電力の輸送用燃料への変換など）によりグリッドの柔軟性を向上させる際に Power to Gas (PtG) の果たす複数の役割（電力グリッドの需給バランス確保、電力貯蔵、CO<sub>2</sub> 排出のない燃料の生成、新たな電力グリッド構築のためのコストの低減など）を総括している。また Power to Gas の実証的研究がすでに多く実施されていることを踏まえ、現在を本格的商用化を目指した「スケールアップ開始の時期」とし、今後必要なコスト低減、実環境下での PtG のデモンストレーション、各種規制あり方の検討などを行うために EU PtG Platform が組織されたことを紹介している。

発表 106 では同様の観点から PtG 産業化のためのロードマップが提案されている。さらに NEAS Energy の発表 205 では自身が実施している電力、ガス等の EU 各国間の取引の現状を踏まえて①電力とガスシステムなどの統合、②再エネの更なる増大に対する電力貯蔵容量拡大による電力グリッドの需給バランス確保のための PtG の必要性を述べている。

さらに発表 104 ではすでに 190 以上もの Power to X のデモプロジェクトが実施されていることを示し、これらに対し IEA task38 で実施されている調査内容（プロジェクトデータの収集、技術の経済性、関連法規制・政策、経済的なインパクトの解析など）などを簡単に紹介するとともに、それぞれの Power to X プロジェクトを P to Hydrogen (P to H) と Hydrogen to X に分けて分類し、分析例として前者についてはグリッドとの接続方法、電解装置の種類、後者についてはアプリケーションの種類、種類別の実施トレンド（図 5）などを示すとともに、task ではデモプロジェクトのロードマップの在り方などを議論して示していきたいとしている。

有望分野での用途展望に関しては発表 209 では自動車、船舶、鉄道等への用途展望と取り組みの現状について概要（HyTIME (FP7 2012.1.1~2015.6.30)、Hyseas I, II, III (H2020 2018.7.1~2021.12.31)、Gencomm (NEW program 2017.3.15~2020.3.15)、SEAFUEL (Interreg Atlantic Area Program 2014~2020) など種々のプロジェクトの紹介などを含む）が示された。

また 213 では化学工学での用途展望が示された後、用途に合った電解装置を開発するため実環境での動作条件に基づいた耐久性の加速試験方法が提案されている。

表 3 Power2Gas コンファレンスの発表内容

研究開発内容	電解タイプ	生成物	件数	関連発表	
電解	アルカリあるいは固体高分子形	多種の生成燃料	2	102、103	
		水素	2	202、204	
		メタン	化学的メタネーション	2	201、206
			生物的メタネーション	3	105、207、208
	SOEC	メタン	7	108、109、111、112、113、211、212	
		リバーシブル SOC	2	110、210	
その他		2	107、114		
その他	P to G 等技術概要、P to G 市場 各国の R&D、P to G の用途展望と耐久性の加速試験など。		7	101、104、106、203、205、209、213	

(図面を削除しました。)

図 5 PtH 累積インストール数 (発表 104 資料より)

## 2.2 アルカリおよび固体高分子形水電解

発表 102、103 によりアルカリおよび固体高分子形水電解装置の代表的メーカーである NEL Hydrogen と Hydrogenics によりアルカリおよび固体高分子形水電解装置の開発状況、デモプロジェクトの紹介、PtG 実用化に関連し、システム低コスト化の見込みなどが述べられた。具体的内容は以下の通り。

- ・アルカリ形水電解は 100Nm<sup>3</sup>/h (入力 500kW 程度) ~500Nm<sup>3</sup>/h システム程度までラインナップ。
- ・固体高分子形はアルカリ形より小型高出力密度で数 MW 級まで開発。
- ・入力 MW 規模のデモプロジェクトが欧州特にドイツを中心に多数実施。

- ・しかしながら商用化は今だ困難。法規制もまだ未整備。
- ・化学的メタネーションは水素に比べて生成効率が低く割高。
- ・PtGの経済性は水素を生成しパイプライン注入か、生物学的メタネーションが比較的良い見込み。

また、発表 202 では REFHYNE プロジェクト (2018. 1. 1~2022. 12. 31 予算額 16M€) が紹介された。同プロジェクトではリファイナリーで利用する水素の製造用に世界最大級の固体高分子形電解システム (入力 10MW 最大水素生成量 4t/day) が TM Power により試作予定。

表 6 ITM Power 製電解セル・スタックのスペック

項目	値
スタック効率	45~55 kWh/kg
セル面積	1000 cm <sup>2</sup>
スタック中のセル数	100
セル電流密度	3 A/cm <sup>2</sup>
プロセス温度	約 55°C
システム構成	5×2MW モジュール 1 モジュールは 3 スタックで構成されている模様

化学的メタネーションについては STORE&GO プロジェクト (2016. 3. 1~2020. 2. 29、予算額約 28M€、内 EU 負担 18M€) の紹介 (発表 201) があつた。同プロジェクトは PtG システムを実際のエネルギーグリッドと接続し PtG 技術の成熟レベルを調査するもので Falkenhagen (独) では既存の 2MW アルカリ形水電解システムが存在するのでこれらから水素とバイオガスプラント等からの CO<sub>2</sub> を用いて化学的メタネーションシステムによりメタンを合成し、長距離天然ガスパイプラインに注入する計画である。ガス生成量等は水素: 210m<sup>3</sup>/h (電力入力 1MW 程度)、CO<sub>2</sub> 52.5m<sup>3</sup>/h 生成メタン 57m<sup>3</sup>/h とされている。またこの他に以下の 2 つのデモンストレーションが実施中とのことである。

- ・Solothurn (スイス): 700kW 水電解システムと生物的メタネーションシステムによりメタンを生成し地域のガス配管に注入。
- ・Troia (伊): 200kW アルカリ形水電解システムと化学的メタネーションシステムにより液化メタンを生成。

生物的メタネーションについては BioPower2Gas (発表 105)、BioCat などのプロジェクトの紹介があつた。BioPower2Gas (2013. 9. 1~2016. 8. 31) はグリッドの需給バランスを取りつつ生産したメタンは自動車等で利用することを目的とし独経済エネルギー省の「Energetic Biomass Utilization」の支援を受け Carbotech gas systems が中心となり実施。MicrobEnergy はバイオメタネーションリアクター (BiON サイズ 5m<sup>3</sup>) を担当。300kW 固体高分子電解システムと BiON により余剰電力に対応した間欠的な運転により水素 (60Nm<sup>3</sup>/h) とバイオガスまたは CO<sub>2</sub> から 15Nm<sup>3</sup>/h のメタンの生産を実証。これらの成果をもとに現在スイスの Dietiken の下水処理場に 2000kW の電解システム、50m<sup>3</sup> のバイオメタネーションリアクターからなるシステムを建設。220Nm<sup>3</sup> のメタンの他、熱等も供給する予定とのことである。

### 2.3 SOEC

発表 212 では今後の再エネ導入の見込みとそれに伴う PtX 関連のビジネスチャンスアピール (2050 年には EU では 5000PJ 以上の液体燃料を再生可能エネルギーから製造する必要があるなど)。また同社の HYLINK HL40 (表 7) や産業用の HL200 (750kW、200Nm<sup>3</sup>/h、設置面積 6.7Nm<sup>3</sup>H<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>) を紹介。

表7 Sunfire HYLINK HL40

項目	値
定格入力	150kW
負荷変動対応範囲	0～125%
比電力	3.7kWh/Nm <sup>3</sup>
水素生成能力	40Nm <sup>3</sup>
H <sub>2</sub> 圧力 (コンプレッサ加圧後)	10bar (g)
H <sub>2</sub> 純度	99.999vol.% 露点-60°C
供給蒸気	150°C 3bar (g) 最大流量 40kg/h
供給電力	三相 380/400/480V 50/60Hz
ノイズ	<60dB (装置より 3m 地点)
周辺温度	-20～40°C
コミュニケーション	遠隔制御、モニタリング可能

さらに PtX 対応として同社のシステムで CO<sub>2</sub> と水蒸気を共電解してメタン等を合成すると理想的には生成効率 81%LHV に達し、実際の条件でも既存の水電解とメタネーションのシステムに対し 15%程度の効率向上が見込めると報告し、ディーゼル油やガソリンなどの合成を目指している独教育科学研究技術省のプロジェクト (e-Crude production) を紹介した。

また発表 110 BALANCE プロジェクトでは VTT よりリバーシブル SOFC のモデリングにより性能解析。SOFC モードでは水素 LHV を基準にすると発電効率 50%が期待、一方 SOEC モードでは AC 電力を基準にすると 79%HHV (67%LHV) の水素生成効率が期待されることが報告。また、原料蒸気が外部から得られる場合は 94%HHV (80%LHV) まで効率が向上する見込みであることが報告された。

HalderTopso (発表 211) はこれまでに SOEC セルスタック (75cell, 0.5A/cm<sup>2</sup> など) を開発し様々な耐久性試験などを実施。CO<sub>2</sub> 電解については 750°C、70A、入力ガス (CO 4%, CO<sub>2</sub> 96%) の条件で 7 千時間以上の運転を実施、16mV/1000h 程度の耐久性を得ている。また、グリッド需給バランスを想定した 5～15 分のインターバル運転試験を 2000 時間程度実施し耐久性を確認している。これらの成果をベースに 300kW 級 CO<sub>2</sub> 電解システム (96Nm<sup>3</sup> CO 生産量) をデモンストレーションしている。市場として化学、製鉄、ファインケミカル、エレクトロニクスなどを想定している。さらにバイオガス中の CO<sub>2</sub> のメタンへの変換を目指して 50kW SOEC (水素生産量 16.3Nm<sup>3</sup>/h) と化学的メタネーションリアクターによりバイオガス (60%メタン) 10Nm<sup>3</sup>/h をメタン (97%, 10Nm<sup>3</sup>/h) に変換する実証研究を 2016 年から実施 (発表 109 と重複)。さらにはアンモニア、メタノール等への応用可能性を示した。

### 3. まとめ

本コンファレンスでは 190 以上もの PtG 関連プロジェクトがヨーロッパを中心に実施され、再生可能エネルギー大規模導入による電力の有効利用、電力需給バランスから、化学、製鉄、運輸等での CO<sub>2</sub> 削減に果たす PtG, PtX 等の意義を明確にするとともに、現状技術の開発状況、コスト削減を初めとする技術、経済的、制度的課題、商用化を目指したロードマップが議論された。日本では今だ PtG, PtX は少なく、個人的にも生物学的メタネーションについては全く知らず、水電解、SOEC 関連技術についても上で記したように新たな情報が数多く入手でき、大変有意義なコンファレンスであった。

表8 10/17日 コンファレンスプログラム

	発表者	所属	所属機関の種類	発表タイトル
101	A. v. d. Noort	DNV GL	認証機関 (ノルウェー)	The role of power-to-gas in enhancing flexibility and the road to commercialization
102	R. Schmid	Nel Hydrogen	電解装置メーカー (ノルウェー)	Are our economies ready for Power to Gas?
103	D. Thomas	Hydrogenics	電解装置メーカー	Lessons learnt from P2G demo projects in Europe and the way forward to commercial project
104	J. Proost	UCLouvain	大学 (ベルギー)	Critical assessment of running P2H demo-Projects within the framework of IEA/HIA
105	T. Heller	MicroEnergy Viessmann Group	生物的メタネータ関連企業	Feasibility studies - Power to Gas as a technology that transforms and stores energy
106	F. Lehner	E4Tech	コンサルタント会社 (英、スイス)	Is water electrolysis ready for scale-up? A roadmap for industrialization
107	N. J. Bjerrum	TDU	大学 (デンマーク)	One -Step methane production by co-electrolysis of water and carbon dioxide
108	M. Jegoux	Engie	電力・ガス事業者 (仏)	Power to -X through high temperature electrolysis a technical economic analysis
109	T. Stummann	Haldor Topsoe	化学プラント・触媒会社 (デンマーク)	BioSNG and Biogas Upgrade, Power to Methane - New Development in Technology
110	O. Thomann	VTT	国研 (フィンランド)	Power-to-gas-to-power: simulation and design of a demonstration reversible SOEC system
111	L. C. R. de Sousa	IET	ラッパースビル技術高等学校のエネルギー研究機関 (スイス)	Power-to-Methane in using SOEC
112	J. Kupecki	Institute of Power Engineering	研究機関 (ポーランド)	High temperature electrolysis based on solid oxide cells for highly efficient P2G system
113	J. Milewski	Warsaw Univ. of Tech.	大学 (ポーランド)	Development of Molten Carbonate Fuel Cells at Warsaw University of Technology
114	W. H. Fietz	Karlsruhe Inst. of Tech.	大学 (独)	Combined Transfer of Liquid Hydrogen and Electrical Power

表9 10/18日 コンファレンスプログラム

201	H. Focker	Uniper Energy	エネルギー事業者	STORE&GO Falkenhagen - Demonstrating Opportunities for Power to Gas on European Level
202	J. Newton	ITM Power	電解装置メーカー (英)	REFHYNE: 10MW PEM Electrolyser for Refinery Applications
203	A. Jannasch	RISE	国研 (スウェーデン)	Swedish Hydrogen Development Center and associated projects
204	R. Pieters	Gasunie	ガス事業者 (蘭)	P2G and North Sea Wind Power Hub
205	L. H. Rasmussen	Neas Energy	エネルギーアセットマネジメント会社 (デンマーク)	Real life case flexibility from P2G for the electricity market
206	J. Zdeb	Tauron	電力事業者 (ポーランド)	CO <sub>2</sub> Methanation System for Electricity Storage
207	B. Sang	Hanyang univ.	大学 (韓国)	Methanothermobacter species isolated from the reactor for thermophilic and hydrogenotrophic bio-methanation of CO <sub>2</sub> for power to gas application
208	D. Hafenbradl	Electrochaea	事業用生物的PtG技術開発企業 (独)	Industrial Scale Biological Methanation - Learnings and Insights
209	B. Ireland	Logan Energy	燃料電池等エネルギー機器開発企業 (英)	P2G for mobility - hydrogen storage enabling sector shifting in practice
210	R. S-Wilckens	Univ. Birmingham	大学 (英)	Zero-carbon methane and diesel as an option to de-carbonise the transport
211	P. Blennow	Haldor Topso	化学プラント・触媒会社 (デンマーク)	P2G activities at Haldor Topsoe: perspectives on electrification of the chemical industry
212	K. Ullrich	Sunfire	SOFC/EC 開発企業 (独)	Power to X - Necessity for Sector Integration
213	Y. van Delft	VoltaChem	研究開発プログラム (蘭)	Power2Gas R&D for the Chemical Industry

以上

## 2018 年度 海外出張報告書

## — Hydrogen &amp; Fuel Cells Energy Summit 2019 —



報告書作成日	2019年3月8日
--------	-----------

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	Hydrogen & Fuel Cell Energy Summit 2019 での情報収集
4. 出張者	ブラザー工業
5. 出張先	TRYP Madrid Atocha (Spain)

## 6. 日程：

2019年2月4日(月) 名古屋発、成田経由 マドリッド着  
 2019年2月5(火) Zaragoza CALVERA 社訪問  
 2019年2月6(水)～7日(木) Hydrogen & Fuel Cell Energy Summit 2019 参加  
 2019年2月8日(金) マドリッド発、ヘルシンキ経由2月9日(土) 名古屋着

## 7. 出張概要

## 7.1 参加の背景

NEDO 委託調査事業「燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査」を行う。  
 燃料電池関連の世界の動向調査において Hydrogen & Fuel Cell Energy Summit 2019 はヨーロッパで行われる水素燃料電池に関するフォーラムで開催国の水素関連施設を訪問することも特徴となっている。今回は 2 日間のフォーラム前日にはザラゴザにある CALVERA 社を訪問した。

## 7.2 参加の目的

ヨーロッパの水素燃料電池フォーラムに参加して燃料電池関連の最新情報を収集する。

## 7.3 概要

### (1) CALVARA 社

マドリッドから北東に 270 km 離れたサラゴザに位置し、高速鉄道で 1 時間 15 分バスで 20 分の距離にある。車窓をみるとこのような風力発電施設が延々と広がっている。



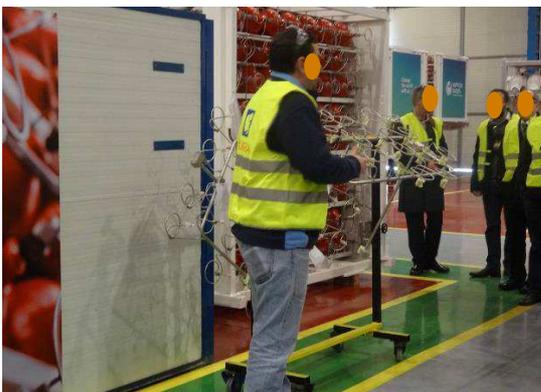
工業用ガス、水素、圧縮天然ガス用のガスボンベ、輸送用のカードル、水素ステーション用充填設備などの開発製造を行っている。

工場の感じは大阪にあるサムテックを連想した。

高圧ボンベはタイプ 1,2 が主流でタイプ 4 はまだこれからである。

水素ステーションの充填設備はモックアップで実働はしなかった。

70M に関してははるかに日本が進んでいる印象である。



水素運搬車にカードルを積み込むデモを見せてくれた。



## (2)フォーラム

マドリード中心部の TRYP Madrid Atocha ホテルの会議室で二日間 1 日目は 8 時半から 18 時 45 分まで、二日目は 9 時から 16 時半まで開催された。

会場は以下のようである。



一日目は 15 人二日目は 11 人の合計 26 人のプレゼンテーションを受講した。

スペイン 4 人、スコットランド 2 人、EU4 人、アイルランド、オーストリア、カナダ 3 人、デンマーク、ノルウェー、ドイツ、オランダ 2 人、イギリス 3 人、オーストラリア、カリフォルニアといった陣容であった。

## (3)フォーラム運営会社について

### (3-1)TOBIAS RENZ アメリカの水素燃料電池展(\$ 335)

Tobias Renz は、HANNOVER MESSE のグループ展示水素+燃料電池+電池の運営を司る会社 Tobias Renz FAIR の代表取締役である。2006 年 5 月、Tobias Renz は、Group Exhibit H2 + FC の創設者である Arno A. Evers の後継者として、会社を設立した。

Tobias Renz FAIR は展示会の出展者を募って、出展者にフォーラムの参加を呼びかけプレゼンの機会を設定している。フォーラムの規模は 50 名弱の椅子を設けて質疑がしやすいようにコンパクトに設定している。

フォーラムの司会進行は TOBIAS RENZ の社員が行っており、燃料電池の専門知識を有しており、聴衆から質問が出ない場合は自ら質問が出来るほどレベルが高い。

フォーラムのプログラムはびっしり詰まっています。全部こなすと昼食、休憩は取れない。  
フォーラムの参加費用は無料なので展示会の入場料約 3 万 8 千円を払えば有益で最新の情報が入手できる。  
ただしプレゼンの資料はその場限りであるのでカメラで漏れなく取れないと情報がこぼれてしまう。

### (3-2)ACI; Active Communications International

今回のマドリッドでの水素燃料電池エネルギーサミット 2019 の主催 (£ 1,525)

ACI は会議の計画と運営を行なっている。シカゴ、ロンドン、プネー、ポートランド、ボズナン、ミルウォーキーにオフィス  
を構え、サービスを提供する業界に最も関連のある分野に焦点を当てたワールドクラスのイベントを開催している。  
業界との重要な接点を築き、質の高い、有益で付加価値の高い戦略的ビジネス会議の開催に尽力している。  
ACI は国際会議を運営する会社で、今回もヨーロッパの開催ながら、アメリカ、カナダ、オーストラリアからもプレゼン  
ターが訪れていた。

実際のところアナハイムのプレゼンターと比較して質が高いかどうかは分からないが、話の内容は充実していた。  
また、フォーラムのプレゼン資料がウェブで公開されたの。日本円で 22 万円以上かかる二日間のこのフォーラムには  
90 人ほどの主にヨーロッパからの参加があった。

CALVERA の工場見学の交通費は参加費用に含まれている。

ランチタイム、コーヒータイムなどがセットされていたので休憩時間はとることが出来た。

ACI の会議運営はこのかなり高額な参加費用ですべてまかなっている。

また、フォーラム開催場所のホテルに宿泊したので楽だった。

TOBIAS RENZ も ACI も情報収集をするためには今後も参加を続けることは有益であると思う。

### (4)所感

・ヨーロッパでは様々なプロジェクトが動いている。

FCH JU や Horizon 2020 は巨額の資金を出し合って多数の国からメーカーが参加して実施している。

その全容を把握して日本のやり方との違いを理解する必要があると考える。

ヨーロッパという広範囲の地域で実証を行なうことは国と国の間の理解が深まり地球規模の温暖化対策を実施し  
ていく近道である。

日本もオーストラリアのビクトリア州と実証を進めているが、オーストラリアの南オーストラリア州のプレゼンには広州、  
香港、シンガポール、クアラルンプールは名前が出てきたが、日本は地図にも示されていなかった。

お隣の州のことは関係ないのかそのあたりは理解できない。

日本も国内のみで実証するのではなく国をまたいだ中国香港や東南アジアと共に実証をしていく必要があると思  
う。

・ヨーロッパの大国ではフランスやイタリアのプレゼンは無かった。またドイツのプレゼンは 1 人で大学の先生が製鉄所  
の CO2 を減らす手法のプレゼンであった。フランスやイタリアやドイツが水素関連でどのように活動しているかを  
もっと知る必要があると思う。

・とにかく略語が多くてもっとなじまないといけなと思った。HRS、BEV、CHP、GHC……。

## 1 - 1 Calvera ラファエル カルベラ氏



カルベラは 1954 年に創業し、高圧システムと安全性の専門化として業務を遂行してきた。

原点は工業用の水素製造である。

その後、移動式パイプラインの製造をリードしてきた。70 名以上の熟練工を有し、北スペインのサラゴッサに 2 万平方メートルの工場に 40 年以上にわたって最高の品質と安全性を確保した製品を供給している。

工場ではガスボンベによる移動式保管システムの製造手順を完璧に統合して

ターンキーサービスとしてエンジニアリング、設計、製造、承認から委託まですべての要望に応えることができる。

カルベラには 3 つの部門がある。

- ・工業用ガス
- ・水素
- ・天然ガスとバイオメタンの圧縮

である。

カルベラはガスボンベのバスへ積載方法について長年の経験による安全設計を実現する。

またガスボンベ同士を接続する金属マニホールドは 1980 年から実行している。

ガスボンベをトレーラーに積載する際、重力の集中を風情でいる。

ガスボンベ（シリンダー）には以下の 4 種類がある。

タイプ 1 ; 鉄

タイプ 2 ; 金属 + 複合的な輪をぐるぐる巻いたもの

タイプ 3 ; 金属の内張り + 炭素繊維複合材料で全面巻いたもの

タイプ 4 ; 高分子樹脂の内張り + 炭素繊維複合材料を全面に巻いたもの

最適な解はコストと用途の見合いで決めていく。

タイプ 1	チューブ	チューブ	シリンダー
動作圧力	200 気圧	200 気圧	200 気圧
水素重量	378kg	416kg	367kg
最大重量	40t	44t	40t

タイプ2	20Ftトレーラー	30Ftトレーラー	40Ftトレーラー
動作圧力	300 気圧	300 気圧	300 気圧
水素重量	323kg	500kg	575kg
最大重量	40t	40t	44t

タイプ3,4	コンポジット	コンポジット	コンポジット	コンポジット
動作圧力	300 気圧	300 気圧	300 気圧	500 気圧
水素重量	709kg	828kg	1005kg	1080kg

実際のケース ; 物理とトータルコスト

顧客 ; 400kg/1 日

往復運賃 ; 500 ユーロ

トレーラーの減価償却 ; 10 年

ヨーロッパ全土 ; 40t 未満

	トレーラー1	トレーラー2	トレーラー3	トレーラー4
動作圧力	200 気圧	300 気圧	300 気圧	500 気圧
シリンダー	タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3-4	タイプ 3-4
水素重量	370kg	500kg	715kg	1000kg
ユニット数	3	2	2	2
設備投資	60,000€	57,000€	117,000€	206,000€
運営費	200,595€	150,000€	115,408€	90,500€
€/H2kg	1.81	1.44	1.61	2.06
TCO10 年€	2,605,946	2,070,000	2,324,085	2,965,000

カルベラの試算ではタイプ2の容器での運用がトータルコストが一番安い。

## 1 - 2 BIGHIT PROJECT エンリク トロリコソ博士



(会場写真を削除しました。)

BIGHIT は水素の生産、貯蔵、輸送、そして熱、電力の移動のための利用において、完全に統合されたモデルを実行することによって、スコットランドのオークニー諸島に水素活用地域を作る。

## 概要

- ・水素領域で Horizon 2020 FCH Joint Understanding とスコットランド政府の共同創出
- ・この共同プロジェクトには、デンマーク、フランス、イタリア、マルタ、スペイン、イギリスの 12 社が参加している。
- ・主なゴールは水素に基づいた統合化されたエネルギーシステムのデモを行なうこと。
- ・プロジェクト期間は 2016 年～2020 年
- ・2019/2/1 時点で 50%達成
- ・予算額合計 ; 13M€
- ・FCH JU 最大出資額 5M€

## FCH JU

低炭素で持続可能なソリューションの創出から、新製品の市場参入の可能性、以前の研究に基づいた「次世代」製品の開発から、燃料電池および水素（FCH）技術におけるヨーロッパの専門知識のための新しい市場の開拓までを行なう。

## H2020

Horizon 2020 は、過去 7 年間で 2014 年から 2020 年にかけて利用可能な約 800 億ユーロの資金を集めた、これまでにない最大の EU 研究開発プログラムである。ラボから市場に優れたアイデアを取り入れることで、より多くの飛躍的進歩、発見、そして世界初を約束する。

## プロジェクトの根拠

### オークニー諸島

- ・20 の島々から成り人口は 21 万人
- ・58MW の再生可能エネルギー（11MW 波動潮汐、47MW 風力）
- ・オークニーと英国は 30MW の相互接続の容量がある

電力網の過負荷(> 再エネからの 100%の需要) = 大幅な削減

⇒低炭素経済への遷移、電気との出会い、水素によるローカル輸送と熱

## 結果とワインダーインパクト

- ・先駆者的なパイロットプロジェクトーヨーロッパにおいて最初の EC による検証済み（視認性、露出、エネルギーとしての水素の位置づけの国民の意識）
- ・地域の再エネと地域の水素を統合した商用ビジネスモデルとしての検証（水素バレーのケーススタディ）
- ・地域、国家の低炭素経済戦略の実現
- ・地域の技術と有資格職業のエンジニアリング技術を含めて地域経済を押し上げる

- ・グリッドの拘束と地域の風や海による再エネ（削減も考慮）のハーネスを克服する
- ・グリッドへの投資を抑えて、負荷のマネージメントを高度化する。（電気の資産と地域送電網の使用の最適化）

H2 地方エネルギーシステムは、風力と潮汐からのグリーン水素を供給し、道路とフェリーを使って輸送分配し、最終利用者は水素を熱電気として更なる輸送に使用する。

プロジェクトの現在状況—水素領土としてのオークニー諸島

- ・最初の水素委託製造所—グリーン水素を潮汐と風力から製造した
- ・オークニー諸島で 5 台の再エネ水素燃料電池者が稼動—地域グリーン水素で充填
- ・コジェネユニットが港で稼動しておりフェリーに対して地域グリーン水素で陸上でのパワーとして用意されている
- ・物流モデル（V1 は終了）オークニー諸島を横切って水素の輸送と分配を実施
- ・1 つのルートを使っての水素運搬トレーラーのフェリーによる輸送の試行が終了

輸送；島内の水素の運搬

- ・ADR(道路による危険物の国際輸送に関する欧州協定)と海運認証—新法と法律が制定された
- ・重量、空間、安全性の制限
- ・フェリー乗組員と緊急対応の訓練
- 学んだ教訓は他のデモプロジェクトや地域に活用

オークニーにおける水素製造コストのモデル結果

電気料金は水素製造コストを決める主要因である

オークニーで 1kg のグリーン水素を製造するためのコストは現状で約 5.17€～9.97€である（それぞれシャピンスアイ島とエダイ島において）

S1（ステージ 1）において水素製造コストの大部分は水電解装置と貯蔵設備投資に起因する

S2（ステージ 2）においは最適化された状況では水素は 2.5€～3€で製造できる可能性がある

普及活動—水素領土プラットフォーム（HTP）

- ・範囲；BIG HIT プラットフォームを別の領土や地域に移植するための情報の交換
- ・メンバーの利点は、主なプロジェクトの成果物、主な結論、ベストプラクティス、方法論、プロジェクトの復成の推奨の情報が得られる。
- ・メンバーの役割；復成された方法論のフィードバック（開発と検証データの提供）
- ・最初の結果
  - \* 先駆者をしのぐ普及と興味を持つ地域同士の連携
  - \* 予備的なビジネスモデルと社会的な経済評価の完了
  - \* HTP のオンライン構造の開発と複製化した方法論が進行中

次のステップ-BIG HIT の上に築くもの

2018 年度は 40M€をオークニーの水素の変改に投資する

次に他の EC 地域に複成し共同運用を行なう

H2 地域エネルギーシステム

BIG HIT

⇒H2 フェリー（H2020 の NYSEAS Ⅲプロジェクトと共同出資）

グリッド負荷制御（インターレグ ITEG プロジェクト）

港湾地域における FCH の普及（港湾設備と地上宣言）

工業用水素、酸素の適応（アンモニア、養魚場）

モビリティ；HDV(重量車)、ミニバス、農作業車

商用、家庭やコミュニティの暖房

### 1 - 3 Hydrogen Europe ニール アルダグ氏



ヨーロッパの水素技術のためのマーケットの状況

Hydrogen Europe Industry は現在 108 社が参加している。

燃料電池と水素のエネルギー使用と運搬の技術に基づいたクリーンで効果的で競争力がある解決策のポートフォリオの構築

世界的な二酸化炭素排出量を見ると水素は輸送、工業、建設業界において唯一脱炭素が達成できるエネルギー手段である。

ヨーロッパにおける水素のロードマップ

工業の連合体と一緒にヨーロッパにおける水素ロードマップを作成した

- ・FCH JU による学習と hydrogen Europe 17 社と組織体によるサポート
- ・ヨーロッパにおいて初めて総合的に水素と燃料電池の展開見込みを二つのシナリオにて定量化した
- ・野心的な、現実的な二つのシナリオの作成と、いつものビジネスシナリオ
- ・長期的な可能性

- ・中間的なマイルストーンとロードマップ
- ・キックスタートの推薦

水素の採択は存在するエネルギーシステムモデルを基にモデル化する

各領域におけるマーケット予測（運搬、建築、熱需要、工業、食料の備蓄）  
= マッキンゼーのエネルギー見通し、HIS, IAE World, Enerfuture

エネルギーシステム（生産ミックス、電力価格、価格）  
= Eurostat, Enerdata, IEA, ENTSO-E

2つのシナリオによる水素採択割合  
= H2 Council, FCH2 JU

ヨーロッパの水素工業の風景  
= FCH2 JU

コストデータ（製造、配送、熱、工業、燃料電池者における投資、運用コスト）  
= マッキンゼー予測、FCH2 JU 検証

経済乗数  
= Eurostat, World Bank, IMF, EIU

環境への影響データ  
= マッキンゼー、IEA

野心的なシナリオと現実的なシナリオを描いておのおのにおいて出発点を明確にして、ロードマップを作成し、マイルストーンを予測する。

そしておのおののシナリオの出力やキー分析を実施する

将来の水素製造のシナリオにおいて、ヨーロッパはグリーン水素製造リーダーとしてすばらしい位置づけにある

ガスグリッドにおけるヨーロッパ水素ロードマップ

ガスのインフラはセクターの統合化における重要な要素である。

- ・天然ガスに水素を 5-15% 混ぜる
- ・純水素を通せるようにガスネットワークをアップグレードする

EU のガスネットワークですぐにでも 22TWh の水素を保存できる

## 2030 年から 2040 年にかけての主なマイルストーン

小型商用車の燃料電池車への置き換え、乗用車の FCV、トラックバスの FCV への置き換え、ディーゼル機関車の水素化

天然ガスから水素へ、家の暖房を水素で、燃料電池コジェネの効率アップ

これらにより総てのアプリケーションに対して 2030 年には 33%2040 年には 63%のカーボンフリー水素製造が実現する。

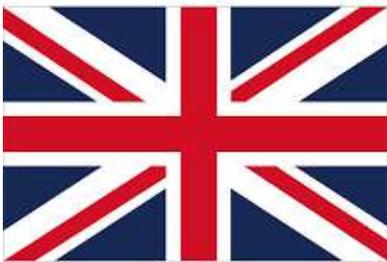
## EU にとっての水素活用の利点

二酸化炭素の削減以外に水素ロードマップの展開は地域派出をカットし、新しい市場を形成し、ヨーロッパに安定した継続的な雇用を生み出す

### 2050 年の水素ビジョン

エネルギー需要の 24%を再エネで確保、二酸化炭素排出量を年間 560Mt 削減、水素と関連装置の年間予算 820bn€、走路輸送から窒素酸化物を 15%削減、水素、装置、供給、工業において 540 万人の雇用創出

## 1-4 Jacobs Consultancy ケニーアン アダムソン



(会場写真を削除しました。)

Jacobs Consultancy は、60 年以上にわたり米国および世界中の業界にコンサルティングおよびエンジニアリングサービスを提供してきた。

年間売上高が 120 億ドルを超える Jacobs は、複数の市場にわたる産業、商業、および政府機関の顧客にフルスペクトルのサポートを提供している。サービスには、科学的小および専門的なコンサルティング、およびプロジェクト管理、エンジニアリング（概念的、基本的、詳細）、建設、建設管理、運用およびメンテナンスのあらゆる面が含まれる。

## 1-5 European Commission ギウリア メリカ



(会場写真を削除しました。)

## 分野別の統合化とヨーロッパのエネルギーポリシー

### ヨーロッパの脈略

- ・エネルギー部門において 2/3 の GHG（温室効果ガス）を排出している
- ・様々な再生可能エネルギーの比率は上がり電力網に導入されている
- ・EEA（欧州経済領域）によると大気汚染により 50 万人の早死者が出ている

### これらを防ぐために

- ・エネルギーシステムの変換が必要
- ・水素はこのエネルギー変換に寄与する可能性のあるものの 1 つである

### EU の主なエネルギー方針の開発

#### エネルギー連合—5 グリッドの次元

- ・エネルギーの保障、連帯、信頼
- ・完全に連携した内部エネルギー市場
- ・エネルギーの効率化が第一（運搬分野を含む）
- ・長期にわたる低炭素社会への移行
- ・研究、革新、競争力を備えたエネルギー連合

### 総てのヨーロッパ人の為の CE4AE クリーンエネルギーパッケージ

- ・CE4AE の中の 8 つの立法のうち 4 つ（EPBD, EED, RED II、統治）は制定済みである。
- 政治的な合意は電気指令、電気規制、リスクへの備え、ACER において得られている

### 長期手版での EU 温室効果ガス削減戦略

- ・2018 年 11 月 28 日 EC は 2050 年までに経済のすべての部門を含む公正な移行を通じて気候の中立性を達成するビジョンを示した。

## 2020 年に向けての EU における領域ごとの再エネ目標

	温熱冷熱	運搬	電力
2016	19.1%	7.1%	29.6%
2020	21%	10%	34%
最終目標	46%	33%	21%

### フレキシブルで順応性があるエネルギーシステム

- ・発電
- ・需要
- ・電力、ガス、熱ネットワーク
- ・保存

### フレキシビリティ；発電、電力網、保存

ICT；需要制御、輸送、バッテリー式電動輸送機 BEV、生産消費者、マーケット  
適応性；燃料の切り替え、ロックインの防止、ガスグリッドへの適応

### 水素のイニシャチブ

- ・オーストリア大統領による立ち上げ
- ・26 の MS、CH、IS EC によってサインされた
- ・100 の私的なステークホルダーによってサインされた
- ・以下の事柄が強調された
  - ・季節により保存された水素の電力用途への使用
  - ・気候変動のための再エネ水素の潜在活用
  - ・水素の万能活用（工業の脱炭素化とガスネットワークのグリーン化）

### EU における最初の分野別統合のスタディ、

#### 2050 年までの水素ロードマップ；技術的そして市場開拓

- ・パワーとリンクして移動体分野での水素の運搬と使用
- ・電力分野とリンクして水素を必要とする工業分野
- ・電力分野とリンクした運搬と熱需要分野
- ・エネルギー保存と RES の統合と部門別統合
- ・国による解析

#### 部門統合の影響のモデリング

- ・我々は次の 3 つのシナリオを解析している

- ・キャリアとしての水素
- ・原料としての水素
- ・電力貯蓄としての水素
- ・バランスの取れた現実的なシナリオ
- ・基礎的な脱炭素化のシナリオ（EUCO）に追加した新たな仮説

#### 主要なモデリング

- ・2050 年までのおのおの EU MS の総ての予測
- ・コスト、インフラ、投資を含んだ EU エネルギーシステムへの影響
- ・完璧に需要と供給が統合化されて均衡した市場のモデリング
- ・明確なポリシーと技術的なドライバー

#### EU における最初の分野別統合のスタディ、その 2

##### バランスの取れた放出とコストのシナリオ

- ・1990 年と比較して、2050 年には二酸化炭素排出量を 96%削減する
  - ・元のシナリオより 12%以上削減効果を上乘せしている（元は 84%）
- ・バランスの取れたシナリオでは CO2 を平均コスト€88/t で削減する（2030 年～2050 年に累積する）
  - ・元の脱炭素化のシナリオの半額以下の価格に設定して（元は€182/T）
- ・パフォーマンスは部門別統合における水素の複数の役割によるもので、とりわけ輸送部門における役割は大きい

##### 電力分野におけるエネルギー貯蔵

- ・エネルギーの貯蔵サービスは市場に基づいた活動であり、競争条件の中で開発されたものである
- ・貯蔵設備の効果的な使用と公平なアクセスは総ての市場関係者のものである
- ・ゆがんだ競争をさけることと電力の貯蔵、分配、輸送、を相互補助しあうこと
- ・新しい戦力指令と規則を電力システムのエネルギー貯蔵のための新しい枠組みとして制定すること
  - ・エネルギー貯蔵の定義は別の貯蔵技術に適応すること
  - ・ネットワーク技術者の特別な役割
  - ・市場へのエネルギー貯蔵の参加、および他のエネルギー資源との平等な競争の場での柔軟なサービスの提供

#### 長期脱炭素戦略

##### ヨーロッパ 2050 に向けてのシナリオ

- ・シナリオは、パリの目標に準拠したエネルギーの需要と供給（土地利用を含む）に関する予測のための用途である
- ・8 つのシナリオで様々なテクノロジーパスを分析する（高帯電、水素、パワー-to X、高エネルギー効率、循環経済、組

み合わせ、1.5℃温暖化抑制など)

- ・野心の異なるレベル ; 2050 年までに-80%の排出とネットゼロプラスベースライン (通常のビジネス)

パワー-to X のエネルギー市場

規制と政策のトピック - 電気とガス

- ・変革のための新たな規則 ; H2020,FCH JU, 情報学とデータ交換
- ・政策枠組みを強化する (クリーンエネルギーパッケージ、Incl,RES,分散発電(RE)、貯蔵、スマートテクノロジー、キャパシティマーケットなど)
- ・重要な規則はバランスを取る事と需要側の柔軟性である
- ・増大する発電の変動性とより安全な投資を統合するエネルギー価格と電力網料率構造
- ・低炭素ガスとしてのマーケットの認証と電力市場へのリンク
- ・エネルギー貯蔵から別の (輸送、工業) 経済分野への繋がりへのメカニズム
- ・標準化—インフラ、装置、ガスの品質 (水素、バイオメタン)
- ・国際協調

以上

## 1-6 Hy-Energy Consultancy イアン ウィリアムソン (アイルランド)



各分野の統合を通したエネルギーシステムの遷移

GenComm ; スマート再生可能水素によるエネルギー安全なコミュニティの創出

プロジェクトの一般目的

GENCOMM は、再生可能な H<sub>2</sub> バリューチェーンを技術的および財政的に検証し、それを NWT コミュニティを持続可能な地域および自律型エネルギーマトリックスに導く DST に適応させることを目的としている。DST は、提案されているマトリックスを実装するための重要なエージェントとして、コミュニティのエネルギー関係者 (エネルギー部門の公益事業者、政策立案者、および民間企業) に向けられている。このプロジェクトでは、エネルギー的にも地域的にも離れた地域のコミュニティに働きかけてから、残りの NWE に取り組む。

スマート水素 GenComm パイロットプラントは、

北アイルランドからは風力、ドイツからは太陽光、スコットランドからは AD（嫌気性消化）バイオガスから発電し、水電解装置で水素を作り、北アイルランドでは工業用として、ドイツではモビリティ用として、スコットランドでは定常的なエネルギーとして使用する

プリアイルランド GenComm-水素 アイルランド

- ・1つの小さな電解源
- ・小規模な水素の利用
- ・特別な電気的な利用のためのいくつかの LHY の輸入
- ・水素のエネルギー利用はなし
- ・政治的な意思の欠乏
- ・広い国民の認識不足

Viridian/Energia 風力発電パークの位置

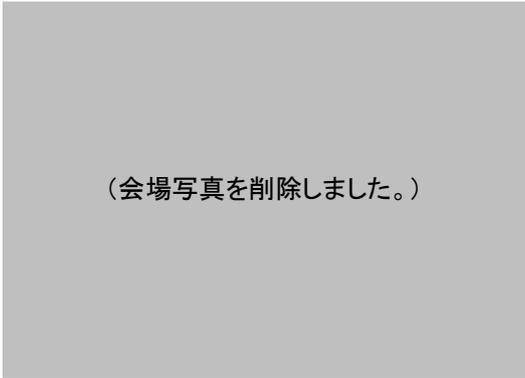
- ・場所 ; Long Mountain Wind Park
- ・バリミーナの北東アントリム郡
- ・12 基のエネルギー社製 E70E4 タービン(28MW)

まとめ

ポスト GENCOMM-アイルランドの水素

- ・アイルランドの現在の水素マップ
- ・水素分野に新しく企業が参入
- ・発表予定の資金で複数の HRS が開発中
- ・水素の長蔵プロジェクトが議論されている
- ・水素領域において追加のバイオガスオプションを刺激する
- ・3月に水素アイルランド協会が発足する
- ・GenComm を通じたより幅広い公衆が関与する水素コミュニティの立ち上げ
- ・地理的に重要なヨーロッパは英国の EU 離脱を与えた
- ・政治的に南部で勢いを増している ; 北部でも政治が必要
- ・水素は現在再エネの浸透を高める政治的な手法として見られている
- ・エネルギーの分野間を結びつける新しいビジネスモデルが展開されている

**1-7 Vervand ルドルフ ゾウナー（オーストリア）**



(会場写真を削除しました。)

## 輸送と工業における分野における統一グリーン水素の主たる規則

VERBUND は、オーストリアの電力産業公社として設立された。

1947年以來、水力、つまり再生可能エネルギーを有し、70年以上経った今日、VERBUNDはオーストリアで最大かつ最も気候に優しい発電会社である。水力発電所は、オーストリアのアルプスにある高効率（揚水式）貯蔵発電所であり、オーストリアのすべての主要河川に流水式発電所がある。2009年以來、VERBUNDはバイエルン州でも発電所を運営している。水力発電は、今後も慎重に投資を続けていく。

- ・フェアブント(Verbund)は96%が再生エネルギーである
- ・128箇所の水力発電所をもち総発電量は8500MWであり、オーストリアの電力会社のリーダーである
- ・1800GWhの揚水貯蔵を有し、ヨーロッパの電力供給会社の間で気候変動緩和においてNo1である
- ・ドイツ語を話すヨーロッパで最初のグリーンボンド
  - \* グリーンボンドは、資本市場（マーケット）から温暖化対策や環境プロジェクトなどの資金を調達するために発行される債券をいう
- ・ドイツのESG評価機関oekomによれば環境マネジメントのフェアブントのランクは160社の電力会社中10位にランクされている
  - \* ESG評価；ESGとは、E（環境）、S（社会）、G（ガバナンス）の総称
- ・環境対策費は2027年に280M€を投資する
- ・オーストリアとドイツにおいて柔軟性とグリーン電力のマーケティングにおけるマーケットリーダー
- ・優れたコンプライアンス文化を持つウィーン証券取引所に上場

チャレンジ；余剰電力の大幅な増加と潜在的な削減

チャレンジ；脱炭素、運輸、工業、温熱冷熱

チャレンジ；エネルギー貯蔵における脱炭素

- ・年間エネルギー需要の15%が貯蔵されている。（天然ガス、石油、石炭）しかしそのわずか1%しか再生エネルギーはない
  - ・再生可能エネルギーを使用したセクター統合により、この機能は大幅に向上する可能性がある
- フェアブントはオーストリアからのグリーン電力以上のものを届ける

グリーン電力；

- ・2016年に96%が水力風力の再エネ
- ・21箇所の揚水発電所(3260MW)
- ・693ミليونm<sup>3</sup>の揚水庫（1800GWh）
- ・オーストリア最大の電力網と需給バランスサービスのプロバイダー

水素の将来—鉄鋼業界における水素

現状

- ・1トンの鉄を作ると2トンの二酸化炭素が発生する
- ・鉄鋼業界はすべての工業から放出される二酸化炭素の30%を放出している
- ・還元剤として炭素をグリーン水素で置き換えることは、2050年に二酸化炭素削減目標を達成するための唯一現実的な方法である

チャレンジ

- ・すべての炭素を置き換えると製造コストが飛躍的に上昇してしまう
- ・鉄鋼業界において24時間7日間大きなグリーン電力の需要がある

オーストリアのリンツの製鉄所における水電解システムの設置と稼働

キーデータ

- ・6MWのPEM型
- ・2019年にパイロットプラントが稼働
- ・26ヶ月間にわたりパイロットテストとデモを実施

長期的な目標；石炭とコークスをグリーン水素で置き換える

- ・シーメンス社製の6MWのPEM型水電解システムをオーストリアのリンツにあるフェストアルピーネ社に設置する

**Aragon hydrogen Foundation バネッサ ギル**



(会場写真を削除しました。)

アルカリ水電解技術の見通し—グリッドサービスを提供する上での課題

アラゴン州の水素について

- ・サラゴザの近くにスペインで最初の風力発電地区が作られた
- ・2003 年に大きなエネルギー変化が起こった
- ・新しい水素技術をサポートしている理由は、
  1. 再エネの可能性について優位に立つこと
  2. 地方の戦略的状況において優位に立つこと
  3. 連結された工業（分野ごとの結合、新しい製品を開発する）
  4. 高いレベルの研究グループの存在
- ・2003 年；アラゴン州政府によってワークショップが作られた
  - ・目的；エネルギーベクターとしての水素について議論し学ぶため
  - ・結果；アラゴンにて水素技術を開発する為の戦略策定  
；アラゴンにて新たな水素技術の開発財団の設立

#### アラゴンの水素マスタープランの策定

##### プランの目的

- ・一般
    - ・新しい水素技術の機会を識別する道具を持つため
    - ・地方の戦略的ラインを確認し、時間軸とアクションプランを作るため
  - ・特定
    - ・技術の現状を見直し、機会を定義する
    - ・アラゴンの SME（システムマネージメントエンジニア）の特別なプロジェクトを確認する
    - ・全面的な支援と一般的な支援行動
    - ・描かれた戦略的な線の連続性を定義しながら、より長い一時的な期間として 2020-2050 で調査を実施する
- ⇒将来は SME や専門家を準備する

##### 我々とは

アラゴン州の新しい水素技術開発財団（FHA）は私設の営利目的ではないエネルギーとしての水素活用の促進を行なう団体である

研究技術開発センターは、水素、再エネ、電動車、エネルギー効率周辺の戦略的プロジェクトの推進のための重要な道具である

燃料電池の使用や移動手段のためそして分散型発電のために水素を製造し貯蔵し運搬するという目的を持っている  
FHA は研究、技術開発、コジェネレーション 産業適応 産業の近代化と競争力の向上への貢献を目的とする  
2003 年 11 月 23 日に設立

## 施設とインフラ

- ・場所 ; Walqa Technology Park ウエスカ市
- ・建物 ; 水素再エネプロジェクト (ITHER) 技術インフラの一部
- ・設備 ; スペイン唯一の大型水素設備/システム(高さ 8.5mATEX ガス検出換気システム)
- ・インフラ ; 企業のサービスで新プロジェクトと技術開発のためのテストベンチを有する

## 能力

- ・エネルギーとしての水素利用
- ・製造、貯蔵と輸送とアプリケーション
- ・持続可能なモビリティと再生可能エネルギー貯蔵
- ・システムの統合とエネルギー効率
- ・トレーニング

エネルギー用途のグリッド結合マルチメガワットの高压アルカリ電解プロジェクト

= elyntegration

Elyntegration の戦略的目標は、IHT 技術をベースとした、堅牢で柔軟でコスト競争力のあるマルチメガワットアルカリ水電解槽の設計とエンジニアリングであり、エネルギー用途で最大 4.5 トン H<sub>2</sub> /日単一スタックで水素の生産が可能。

期間 ; 2015 年 9 月 ~ 2019 年 5 月

予算 ; 3.3M€

安全で信頼性が高く安価で持続可能なエネルギーの中核システム

1 モチベーション

脱炭素のエネルギー市場における水電解装置の役割

- ・最適な使用は再エネの余剰電力から水素を製造すること
- ・電力網を安定させること (グリーン水素からの追加収入の流れ)

## キーチャレンジ

- ・パフォーマンス (負荷の柔軟性)
  - ・コスト対応力 (運用コストが安い、電気代)
- ⇒
- ・スタックセルの開発 (新素材とトポロジー)
    - ・電解装置の負荷の広範囲においての能力の向上
  - ・工場のバランス(BOP)の最適化

- ・BOP の構成の解析とシステムコスト低減の流れ

## 目標

グリッドサービスに提供するアルカリ水電解装置のための新規成分の寿命評価（セパレーター膜と電極）  
⇒ダイナミック動作状態のアルカリ水電解装置においてその場のデグレードを加速させるテストプロトコール

ストレステストを加速させる必要性

- ・遅いプロセスとしての劣化→長期耐久性の調査
  - ・安くて効率的なスタック用新素材（広範囲の負荷）→未知の振舞い
- ⇒低価格の方法によるそれらの新しい素材のすばやいスクリーニング

## AST プロトコールのデザイン

動作条件によって定義されるストレス

- ・グリッドサービス
- ・電解装置の電力（最小、最大）
- ・動作状態

サービスの制約

- ・対称入札または個別入札
- ・最小入札サイズ(5MW)
- ・レスポンス時間(2 分)
- ・入札期間(年間)
- ・タイムトリガー入札(1 日数時間ごと)

## 新しいセパレーター膜

非常に多孔質で、圧縮されたセパレーター膜（Vito 社）

- ・低イオン抵抗
- ・電気化学セルの圧縮による気密性
- ・セル内で初期に比べて 80%に圧縮されたセパレーター
- ・混合マトリックス（有機 - 無機）複合膜
- ・テキスタイル補強
- ・細孔テンプレート（60nm 一次ゲインサイズ）

先進的な電解装置のスタックを構成する新しいセパレーター膜は 10kw パワーが出る

Atex のパイロットスケールのテストベンチは、

- ・95℃で 60 バールまで
- ・25KW で 3.5N m<sup>3</sup>/h
- ・遠隔操作

#### まとめと結論

- ・耐久性の加速試験；電解装置の性能への動的部分負荷効果を観察するためのツール
- ・60 日間に及ぶ動作試験（フィンランドにて）
  - ・いくつかのセルは電圧劣化率の急激な増加を示した
  - ・いくつかのセルは電圧劣化が 3 %に下がった
- ・ガスクロスオーバー汚染は動的条件の影響を受けない（60 日間のフィンランドでのケーススタディから）

### (1-9) Hydrogenics Denis THOMAS



（会場写真を削除しました。）

#### 水電解装置および燃料電池製品を GW（ギガワット）規模の水素市場に出荷する準備をする

Hydrogenics、100%グローバル水素会社

ハイドロジェニクス株式会社（カナダ）

- ・本社
- ・オンタリオ州ミシサガ
- ・1996 年に設立されました[NASDAQ : HYGS; TSX : HYG]
- ・世界中で **175 名**の従業員
- ・燃料電池、PEM 電解スタック、Power-to-Gas、H2 燃料補給およびモビリティ製品/プロジェクト

HydrogenicsUSA

- ・カリフォルニア州カールスバッド
- ・2018 設立
- ・燃料電池パワーモジュール統合

ハイドロジェニクスヨーロッパ

- ・ベルギー王国
- ・1987 設立

- ・電力 - ガス、産業用水素製造、および H2 燃料補給ステーションのプロジェクト

Hydrogenics GmbH GmbH

- ・グラートベック、ドイツ
- ・Since2002
- ・燃料電池パワーモジュール統合

## 世界水素マーケットの現状

水蒸気メタン改質、原油クラッキング、石炭ガス化、副生水素 = 水素価格 ; 1 €/1kg

水電解 = 電気代 20€/MWh⇒1€/kg

ノーブランド水素の 5%はフリーマーケットでの取引で、95%はオンサイト生産

エンドユーザー価格 ;

工業(6%) = 雰囲気保護、金属硬化 2-8€/kg

化学と精製(93%) = 炭素、水素、酸素、アンモニア 1-2€/kg

その他(1%) = 冷却剤、オイルの硬化、発電、FCV ~10€/kg

今日製造されている水素のほとんど (96%) は CO<sub>2</sub> フリーではない

(ガス、石油、石炭から)。

電気分解によって再生可能エネルギーから製造される場合、水素は完全に再生可能であり、CO<sub>2</sub> フリーである。

再生可能水素は広範囲の用途を脱炭素化する可能性がある。

HySTAT60 はアルカリ電解装置である

アルカリ技術に関する豊富な経験

燃料電池ソリューション : ターンキーシステム用のパワーモジュールから

## PEM の単セル

セル

- ・MEA - 膜電解質アセンブリ
- ・バイポーラプレート
- ・ガス拡散層
- ・ガスケット

## 燃料電池パワーモジュール

セルスタック

- ・複数のセルの積層
- ・エンドプレート

- ・タイロッド
- ・スプリングワッシャー
- ・バスバーインターフェイス
- ・燃料電池電圧モニタ

#### 工場バランス

- ・燃料管理
- ・エアマネジメント
- ・水管理
- ・クーラントポンプと制御
- ・ハードウェアとソフトウェアの制御

#### 燃料電池システム

- ・パワーコンディショニング
- ・ハイブリッドエネルギー貯蔵
- ・ハイブリッド制御ハードウェアとソフトウェア
- ・冷却または熱交換器（または CHP(Combined Heat and Power)）
- ・H2 ストレージ

#### 再生可能水素最近の実証プロジェクト

(図面を削除しました。)

参考情報 <https://www.iea.org/reports/hydrogen-projects-database>

これらのプロジェクトからの主な結論：

- 1.水素技術はうまく働き、期待通りに配送できる。
- 2.さらなる技術改善の余地はあるが、技術の進歩は期待できない。
- 3.さらなる製造コスト削減のための重要な可能性がある：プロジェクト製造から製品製造へ
- 4.エネルギー規制の枠組みはこれらのアプリケーションには適しておらず、これらのプロジェクトの事業運営は依然として非常に困難。

水素ビジネスに関して、優れた経済性のために：低電力価格、長時間稼働、そして最終製品に対する高付加価値が重要

製造側コスト；投資～20%、運営～2%、電気料金～30%、グリッド料金と課徴金～50%  
コスト；原材料収入（水素、酸素、熱）xx%、サービス収入（バランス）xx%、  
再生可能クレジット：テクノロジープッシュとマーケットプル  
「こんなものできました、買ってください」  
「こんなものほしいです、作ってください」

経済学の詳細については、  
フランダースの電力からガスへのロードマップを参照  
[www.power-to-gas.be/roadmap-study](http://www.power-to-gas.be/roadmap-study)

ニッチから・・・

#### **水の電気分解**

- ・離れた場所での産業用途向けのオンサイト水素製造
- ・Power-to-X デモプロジェクト

#### **燃料電池**

- ・プロトタイプと小シリーズ

メインストリームは・・・

COP21 パリ協定の実現

IPCCからの提言で世界の平均温度上昇を1.5℃に抑えるために、二酸化炭素排出量は世界全体で約2050年までに実質ゼロにする。

\* IPCC 国連気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change）

[www.energy-transitions.org](http://www.energy-transitions.org)

そのためにはすべてのセクターにおいて2050年までにCO2ゼロを達成しなければならない。

最近の参考資料

[www.energy-transitions.org](http://www.energy-transitions.org)

[https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en)

[www.dnvgl.com/oilgas/download/hydrogen-as-an-energy-carrier.html](http://www.dnvgl.com/oilgas/download/hydrogen-as-an-energy-carrier.html)

水素、アンモニア、電子燃料は「電化が難しい」分野で重要になる

グリーン電化は、直接電化と電力ベースの燃料の両方を通じて、経済のすべての部門の脱炭素化に大きな役割を果たすことができる。

水素は、要求の厳しい用途での輸送における電気の直接使用を補完します。近距離輸送は電気。遠距離とヘビーデュー

ーティーは水素。

### 水素オファー

- ・遠距離走行
- ・短い充填時間

要求の厳しい商用アプリケーション（フォークリフト、バス/コーチ、トラック、列車、海上など）で差別化できる。

### 全部門で 2050 年までにゼロエミッションを達成

再生可能な水素は

- ・輸送
- ・業界
- ・暖房（ガス）
- ・特に「電化が難しい」部門

### 今後について

#### HyLYZER®-600

マルチ MW プロジェクト用の Hydrogenics の PEM 電解 HyLYZER®-600 3 MW セルスタックの新しいベンチマーク

- 1 MW スケール電解スタック、3.0 MW 業界ベンチマーク
- 2 設備投資コストの削減、目標システムコスト達成
- 3 スタック効率の向上、業界をリードする業績
- 4 素早い応答とダイナミックな操作、キーは IPR の設立
- 5 とてもコンパクト、市場で最も設置面積が小さい
- 6 メンテナンスが少なく最適設計

#### HyLYZER® -1000-30

5 MW PEM 型水電解装置

- ・コンテナ設計とコンパクトな設置面積：2 x 40 ft
- ・プラグ&プレイモジュラーデザイン
- ・Hydrogenics の工場ですべてテストされ認定された

### ゼロエミッション水素列車 Alstom Transport Coradia iLint

- ・ドイツの鉄道網の 50%までは電化されていない（ディーゼルで運転）
- ・ディーゼルの規制強化（排気ガス、騒音）およびディーゼル燃料の値上げ予想
- ・2016 年：水素燃料電池を搭載した第 1 列車
- ・2018 年：DE での認証、商業運転での 2 列車
- ・…DE、FR、イギリスでもっと水素燃料電池電車が走る…

### ゼロエミッション水素燃料電池バス

- 向こう2～4年で中国全土の何千もの燃料電池バスに複数の協定を締結
- 2017年の出荷台数は+ 300台で、統合、道路配置、テストおよび評価が実施中。
- 認定インテグレーターが忙しい
- 起業家精神の第一段階は終わり、大規模な中国企業の関与は明らかである。

#### 今後について

再生可能エネルギーのコストダウン

- 風と太陽

規制の枠組み

- 輸送、産業、暖房で発生するいくつかのビジネスケースの経済条件を作成する
- 実市場のインセンティブが導入されている

FCHの産業と技術

- 標準化
- 製品のスケールアップ
- 音が大きい
- サプライチェーンの発展
- 連結

(図面を削除しました。)

1-10 Hydrogen Valley/CEMTEC      Søren Bjerregaard Pedersen (デンマーク)



(会場写真を削除しました。)

電力網の需給バランスとしての水素製造

北海は再エネのハブである

2020 年度は陸上風力発電；15%、会場風力発電 8%、ソーラ 6%

Hy Balance プロジェクト

HyBalance は、エネルギーシステムにおける水素の使用を実証するプロジェクトで、水素は水の電気分解から生成され、風力タービンから安価な再生可能エネルギーを貯蔵することを可能にする。それにより、グリッドのバランスが保たれ、水素はクリーンな輸送や産業分野で使用されるようになる。

HyBalance プロジェクトは、デンマーク北部のサイトにヨーロッパで最も先進的な水素施設の 1 つを設立する

HyBalance プロジェクトのパートナー

・Air Liquide、Hydrogenics、LBST、Neas Energy、Hydrogen Valley / CEMTEC、および Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)

ハイバランスのトータル予算は 15M€である。

8M€を FCH JU から受け取った

2.6M€をデンマークのフォスケルプログラムから入手したこれはエナジーネットによって管理されている基金である

Akzo Novel(現在 Nouryon)、Sintex、Energinet が協賛企業である

可能性；水素の大規模貯蔵

デンマーク北部の地下には大規模に水素を貯蔵できる塩で形成された洞窟が存在する

ヘビーデューティー交通手段とは

電動の交通手段は重要であるが万能ではない

1. 水素はゼロエミッションと 2-3 分の充填時間によって公共交通機関に使用される
2. バイオメタノールはローエミッションの手段として現状のインフラをそのまま利用して用いられる
3. アンモニアは船のエンジンに簡単に使用できる

上のすべて水素を必要とする。

将来はマルチなエネルギーシステムの用途に応じて水素、メタノール、メタンが使用される

#### メタノールの実施フェーズ

メタノール合成はバイオガスから CO<sub>2</sub> とグリーン水素を組み合わせる。

これはマルチ出力のキーになる成功要因である

パートナーはバイオガス工場のオーナー、工業とガス会社である。

- ・フェーズ 1 – オールボー大学でのパイロットとデモ（2019 年 3 月開始）
- ・フェーズ 2 – 水素バレーのホープローにてフルスケールのバイオガスプラントにてテスト開始
- ・フェーズ 3 – すべての価値の流れを含んだ循環システム

#### アンモニアの実施フェーズ

- ・アンモニアは既に大規模に製造されている
- ・デンマークのコンソーシアムは大規模なグリーンアンモニアを市場投入する計画を持っている
- ・このプロジェクトは、CO<sub>2</sub> ニュートラルバンカー燃料の将来の需要を満たしている

MAN エンジンソリューションは 2 ストロークのアンモニア燃料エンジンに着手し 2.年半で案内できるだろうと述べている

#### 1-11 Yara Interational ロブ スチーブンス



(会場写真を削除しました。)

ヤラは世界中で生産、販売、流通を行っている、世界最大の鉱物肥料サプライヤーである

1991 年からノルウェーで 155MW の電解装置でグリーンアンモニアを製造している。

ミッション

責任は世界を養い、地球を守る

ビジョン

共存する社会上のない世界尊敬される地球

未来のための農作物栄養会社

これから数年間ビジョン達成に向かって重要なステップを進んで行く

共同社会—従業員の 25%が女性で構成されている  
安全で生産的な職場環境ゼロ事故

ヤラの脱炭素化への道：あらゆる範囲での選択肢の探求

•**スコープ 1 と 2 :**

- ・ヤラ工場内での生産プロセスと効率の改善
- ・新しい下流技術による Haber Bosch アンモニアのための CO<sub>2</sub> のない水素源
- ・グリーンエネルギーの調達

•**スコープ 3 : アップストリーム :**

- ・最高のエネルギー効率、低炭素エネルギーまたは技術、最適な輸送ルートなどを備えたサプライヤーを選択する。
- ・物流：物流プロセスの最適化、低炭素企業の利用
- ・原材料：低炭素原材料への革新（例：循環型経済）

•**スコープ 3 ダウンストリーム :**

- ・物流：物流プロセスを最適化します。
- ・適用：効率的な施肥（精密農業）を達成する方法について農民に助言し、施肥後の N<sub>2</sub>O 削減対策を提案し促進する。

**再生可能な研究開発活動**

- ・次世代グリーン肥料技術
- ・一体型バッテリー - 電解槽 (kW サイズ)
- ・電気化学的アンモニアと硝酸塩
- ・北ノルウェーのエネルギーキャリアへの風力
- ・ギガワット電解装置設計
- ・水素キャリアバリューチェーン研究
- ・オープンイノベーション電解槽テストセンター
- ・ PEM とアルカリ

**生産における継続的なステップ**

潜在性

- ・1200 万 MTpa : ヤラアンモニアの量 (合併会社含む) : に相当
- ・200 万トンの水素
- ・年間 380 TJ (0.1TWh) のエネルギー消費
- ・年間 2200 万 MT の CO<sub>2</sub> 排出量

世界的

- ・1 億 8000 万 MTpa の世界のアンモニア生産
- ・1 億 4500 万 MTpa : アンモニアから肥料
- ・1,800 万 MTpa : アンモニア取引

## アンモニア - 出荷のためのゼロエミッション燃料オプション

- ・IMO 戦略：2050 年までに GHG 排出量を 50%削減
- ・ノルウェー議会は、次のようにする決議した。
  - 2026 年までに世界遺産フィヨルドがゼロエミッションを達成
- ・代替輸送燃料に関する最近のいくつかの報告があり、ゼロエミッション出荷において NH3 が最も魅力的な選択肢の 1 つであると結論付ける

- ・UMAS /ロイズ/ ETC
- ・DNV-GL
- ・欧州海洋安全機関
- ・王立工学アカデミー
- ・国際配送センター

## 1-12 Hamburg University of Applied Science マーク ホーリング



(会場写真を削除しました。)

### 内容

- ・動機
- ・ドイツの製鉄業界の CO2 排出量
- ・低 CO2 製鉄手法 (ArcelorMittal Hamburg)
- ・水素による CO2 フリー製鉄手法
- ・水素利用による製鉄の経済性
- ・まとめと展望
  
- ・動機
- ・世界の同盟国は気候温暖化を防止するために CO2 排出を減らすことを望んでいる
  - ⇒例えば、EU 圏内で 2050 年までに 80%削減する
- ・単独での電力生産の変革は不十分である
  - ⇒このゴールを目指してすべてのセクターにおいて CO2 ゼロ化を目指す
- ・製鉄において水素を使用することはその 1 つである
  
- ・ドイツの製鉄業界の CO2 排出量

ドイツの製鉄業界の CO2 排出量は 1900 万台の自動車と同一

- ・ドイツの総 CO2 排出量は 800Mio. t/a(年間 80000 万トン)
- ・ドイツの製鉄業界の CO2 排出量は年間 5700 万トン (≒7%)
- ・1900 万台の車の排出量と同等 (ドイツトータルで 4600 万台)
  - ・1 台あたり年間 2 万 km 走行し、1km あたり 150g の CO2 を排出するとすると、一台あたり年間 3 トンの CO2 を排出する

製鉄にて CO2 は 5700 万トン/年発生し鉄は 4300 万トン/年作られる

製鉄では高いエネルギー需要があり、製品より多い CO2 を放出する

このうち 2/3 は溶鉱炉

- ・高品質スチール
- ・鉄鉱石とコークス
- ・2900 万トン/年のスチール
- ・5000 万トン/年の CO2
- 1.75tCO2/ t スチール

1/3 は電気アーク炉

- ・建設用鋼
- ・ステンレス
- ・スクラップと電気
- ・1400 万トン/年 スチール
- ・700 万トン/年 CO2
- 0.5 tCO2/ t スチール

低 CO2 放出の製鉄 (ArcelorMittal Hamburg GmbH)

- ・直接還元鉄 (DRI) を 50%,スクラップを 50%使用する
- ・CO2 の放出量は 800kgCO2/t(直接、間接)
- ・プロセスは良く発展ってきていて世界の能力は 8000 万トン/年である

還元プラント

- ・スチームリフォーマーにおける天然ガスの水素と一酸化炭素への分解
- コークスよりも炭素含有量が少ない還元剤
- ・削減プロセスに濃度 57%の水素を導入

溶鉱炉は

高品質鋼が出来、製造コストは安く、高効率で統合化された工程を作れるが、CO<sub>2</sub> 排出量は多く、ETS（欧州連合域内排出量取引制度）により将来はコスト高となり、コークスの使用により最適化の可能性が低い

電気アーク炉+スクラップは

製造コストは安く、CO<sub>2</sub> 放出量も少ないが、低品質グレードの鉄とステンレスのみで有効で、スクラップの使用により最適化の可能性は低い

電気アーク炉+直接還元鉄+スクラップは

高品質グレードの鋼が作れ、CO<sub>2</sub> 排出量は少なく、CO<sub>2</sub> フリープロセスに高い可能性を持っているが、天然ガスの使用により製造コストは高い

完全 CO<sub>2</sub> フリーの製鉄

- ・CO<sub>2</sub> フリーに向けてのエネルギーシステムの変革
  - ・ガス加熱の代わりにビレットの誘導加熱
  - ・鉄鉱石の削減は CO<sub>2</sub> を含まないものに変えるのが難しい
- ガスは加熱だけではなく化学反応に使用される

研究のトピック

- ・天然ガスから水素への変換において技術的リスクは少ない
- 水素還元は工業用流動床反応器で証明された

パイロットプラントでの研究トピック

- ・高炉のエンタルピーバランス
- 化学平衡の温度と出口温度
- ・不活性ガスを低レベルに保つために必要なパージレート
  - ・最適なシステム圧力
  - ・DRI と比較した電気アーク炉における H<sub>2</sub>BI の溶融挙動
- 高い電気消費量
- ・新しいプロセスの柔軟性
- 高速起動とシャットダウン

投資コスト

- ・パワー-to ガスの値下げはまだ終わっていない
- 合理的な将来展望を与えるのが困難

#### ・例

- ・Eon/Uniper(Hunburg) 2MW で 13.5M€
  - ・Voest Alpine(LINZ/Austria) 6MW で 18M€
  - ・楽観的に見積ると 1000€/KW
  - ・必要な電解装置のサイズは 85t/h;256MW
  - ・電解装置だけでも投資コストは 256M€以上になる
- 水素のみの製造コストは通常の 85t/h の還元プラントと同様の大きさとする

#### 運用コスト（エネルギーのみ）

- ・水素ベースの還元プラントの連続運転のためのバックアップされた再生可能エネルギーの使用
- 電気代は 100€/MWh と仮定
- ・海岸にある風力発電との比較 = 80€/MWh
- 20€/MWh はグリッドとバックアップ
- ・エネルギー需要は 3.31MWh/t
  - ・スペックコストは 331€/t
  - ・年間生産量を 55 万トンと仮定する→182M€
- \*バックアップエネルギーは風力や太陽光が働いているときだけでなく、いつでも利用可能であることを意味する→コストは製造時のコストより割高である

#### 運用コスト比較

##### 一般的な還元プラント

- ・3MWh/t のガスの需要→60€/t
- ・電気需要 0.07MWh/t→3.5€/t
- ・スペック エネルギーコスト→63.5€/t
- ・年間コスト 55 万トン→35M€

##### 水素還元プラント

- ・スペック エネルギーコスト→331€/t
  - ・年間コスト 55 万トン→182M€
- ・従来プラントに比べて水素還元プラントのコストは 5 倍
  - ・追加コストは年間 147M€
  - ・現在の状況下では壊滅的な経済学になってしまう

#### どうやって経済性を上げるか

- ・電気代を低額に→19.2€/MWh 以下(実際 ; 100€)

- ・天然ガスを高額に→106€/MWh 以上（実際；20€）
- ・CO2 の削減証書価格を高額に→500€/tCO2(実際；25€)
- ・スチール価格の上昇→750€/t 以上（実際；600€）

近い将来こうなることはないだろう

#### 結論

- ・技術的観点から鉄鉱石の CO2 フリー還元および CO2 フリー鋼生産も可能である
- ・シミュレーションでは新しい CO2 削減製法によって 637N m<sup>3</sup>/t = 57.3kg/t の特定の水素需要を示している
- ・現在の状況下では経済的には非常に悪い→工業的に組み入れることはあり得ない
- ・政治家はこのきわめて重要な技術の開発を支援することを求められている

我々はどうやるのかはわかっているがいつやれるのかはわかっていない

### 1-13 Gasnie N.V Afkenel Schipastra



(会場写真を削除しました。)

エネルギー市場の移行におけるガスニー  
オランダ = ヨーロッパのクリーンエネルギー供給の最前線

オランダは 50 年以上「ガスの国」と言われている  
スロフテンには約 28000 億m<sup>3</sup>のガス田があり、数百もの小さなガス田が存在する

#### 天然ガス

- ・生産；NAM
- ・販売；Gas Terra
- ・輸送；Gasunie

Gasunie(ガスニー)はヨーロッパのガスインフラ会社である

- ・1213TWh/124 bcm Volume の輸送
- ・15500km のパイプライン
- ・売上げ(2017)1241M€

利益(2017)259M€

COP21 気候の目標 ; 統合化されたエネルギーシステムに向かって  
2050 年には電子や分子が各領域に分配される

39%の電子は工業や住環境に主に使用され、18%の水素は工業や輸送に使用され、それ以外の 43%の分子は工業、農業、住宅、輸送に用いられる

水素はグレー水素→ブルー水素→グリーン水素へと推移していく  
グレー水素 ; 天然ガスから作られ CO2 は大気に排出  
ブルー水素 ; 天然ガスから作られ CO2 は CCS で地中に貯留  
グリーン水素 ; グリーン電力と水から電解装置により水素を作り酸素は大気に放出する

オランダの気候合意における水素

- ・2018 年 12 月にオランダ気候合意のドラフトが提出された
- ・2030 年に 3-4GW の水電解装置の容量を備えるという要望である
- ・来る年に国内の水素輸送および貯蔵インフラストラクチャの準備が行われ、ガズニーや他の会社は実現したいと思っている
- ・2019 年から 2030 年まで政府は水素のデモプロジェクトのために毎年 30€~40€の補助金を出す。やがて水素は新しい SDE スキームに含まれるだろう (再生可能エネルギーに対する補助金) これは水素が他の CO2 削減技術と競合する場合、これは多額の資金調達の可能性を提供する
- ・ガズニー (オランダガス輸送システムオペレーター) と TenneT(オランダ電力輸送システムオペレーター)はネットワーク事業者の投資計画および市場当事者による投資のガイドラインとして役立つ 2030 年から 2050 年までのインフラ探査のための共同シナリオを開発する (最終的な研究結果は 2021 年に、第一弾は 2019 年に提出する)

ガズニーによる新エネルギープロジェクトの例 ; ゼーランド州の水素

- ・ICL/Yara の原料であるダウケミカルの廃棄物
- ・ゼーランド州のメタンパイプラインの利用可能性
- ・水素転送のパイプラインへの切り替え
- ・大幅な CO2 排出削減
- ・技術的な側面

**1-14 Enegas Jesus Manuel Gil Jimenz**



(会場写真を削除しました。)

天然ガスネットワークにおける水素輸送の可能性

エネガス；中流企業で約 50 年の歴史があり、天然ガスインフラのリーダーである

技術的知識、ガスインフラの開発、運用および保守における技術的知識、リーダーシップ、ならびに堅実な財務状況により、エネガスは国際的なベンチマークとして位置づけられている。

スペイン

12,000 km のガスパイプライン

6 個の LNG ターミナル（開発中+1）

3 つの地下貯蔵施設

ギリシャ、アルバニア、イタリア

トランスアドリアティックパイプライン（TAP）

メキシコ

TLA Altamira LNG ターミナル

ソトラマリーナコンプレッサーステーション

モレロスガスパイプライン

ギリシャコンソーシアムは、

66%DESFA の取得のため入札した

スペイン、ペルーとチリに LNG 基地

EC の長期的な脱炭素への道のり

EC の 2050 年への経路は、2050 年までに正味ゼロエミッションに達し、森林の成長による「マイナスの排出」（暗い緑）はあるが、「技術的なマイナスの排出」（明るい）はそれほど多くない。重点的な問題は、すべての分野で劇的に排出量を削減することにある。

## 現在の法的枠組みと 2030 年の目標

### 2030 年の目標 :

- ・1990 年比で 40%の温室効果ガス排出量の削減。
- ・再生可能エネルギー消費量の少なくとも 27%のシェア。
- ・2020 年までに見直されるべき EU レベルでのエネルギー効率の改善のための少なくとも 27%の（予測と比較して）エネルギー効率の改善のための目標（EU レベルの 30%を念頭に置いて）。
- ・2030 年までに 15%に達することを視野に入れて、2020 年までに 10%の既存の電力相互接続目標を達成することにより、国内エネルギー市場の完成を支援する。

### ガスグリッドの脱炭

ガスシステム事業者は、2050 年までにエネルギーシステムの脱炭素化を達成するために、ネットワークを水素に適応させることを約束する。

すでに、水素は天然ガスグリッドでは許容されており、より高い 2 桁濃度への移行は低コストで技術的に実現可能である。

このように、ガス（バイオメタン、合成天然ガス、水素）は、低コストでリスクや破壊的なしゃっくりをすることなく、設定された気候目標に向けた安定した継続的な道を可能にする。

### 気候変動ガス：2050 年への道

「2050 年までに、EU における再生可能ガス（バイオメタンと再生可能な水素）の生産量を 1,200 億立方メートルにまで拡大することは可能であると結論づけた。再生可能ガスの役割がない場合の脱炭素化と比較して、最大の付加価値がある部門の再生可能電力は、年間 1,380 億ユーロの社会的コスト削減につながる可能性がある。」

### 新しいエネルギーベクトル

Enagás は、2 つの主な目標を達成するために、非電気の再生可能エネルギーが脱炭素化プロセスのための重要なエネルギーソリューションだと考えた。

#### 二つの目標

- 1、気候温暖化の阻止
- 2、空気をきれいに

⇒バイオメタン、水素の使用

低炭素経済へのエネルギー転換を後押しするのを助けるプロジェクトを開発するためにイノベーションを起こすことを約束した。

### 新しいエネルギーの方向性 ; P2G

Enagás は天然ガスネットワークに水素をさまざまな割合で注入するさまざまな可能性に取り組んでいる。それはメタン

化反応（PTM）後の合成天然ガスとしても（PTH<sub>2</sub>）。  
エネルギー貯蔵はガスシステムの貯蔵容量を利用して行われる

P2G は、再生可能エネルギー生産（変動性、輸送、貯蔵）を増やし、管理するための解決策になる。

- ・天然ガスネットワーク内の H<sub>2</sub>（PTH<sub>2</sub>）：
  - 天然ガスとの混合物中の H<sub>2</sub> の%の不確実性：
    - PD-01（NGTS）の制限
    - 材料の脆化
- ・SNG /バイオメタン（PTM）の製造：
  - 可能性のある CO<sub>2</sub> 源としてのバイオガス
  - 天然ガスネットワークで 100%の互換性

### 興味のある水素領域

- ・水素の製造
- ・H<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> /バイオガスからの SNG 生産
- ・ガスネットワークへの H<sub>2</sub> / SNG 注入
- ・H<sub>2</sub> フォーモビリティ
- ・脱炭
- ・一般トピック

### 水素プロジェクト

#### マラカのグリーン水素

フリートバスの輸送用燃料として使用するための、太陽光発電パークを通じた再生可能水素プラントの開発

#### 水素の製造 SUN2HY

再生可能水素製造のための光電極触媒技術の開発

このプロジェクトは、太陽エネルギーを化学エネルギーに直接変換するための原子炉として使用される PECセルの開発に焦点を当てている。この有望な技術は CO<sub>2</sub> 放出を減らす大きな可能性を秘めている。

今日、この技術は実験室規模のプロトタイプ（TRL 4）上にあり、この最初の段階（2018～2020）の目的は、商業化前のレベル（TRL 6）とパイロットテストを達成することである。

### ECO 共電気分解

ECO プロジェクト（効率的な再生可能エネルギー貯蔵のための効率的な共電解装置）は、水蒸気と CO<sub>2</sub> の同時電気分解による、メタンなどの分配可能で貯蔵可能な炭化水素への過剰な再生可能電力の変換に焦点を当てている。これは固体酸化物電解セル（SOEC）を使用して行われる。

ECO プロジェクトは、技術を概念実証から関連する環境での技術の検証までもたらし、プロトタイプの実証に向けた準備を整える。

### 水素の注入 カルタヘナのプラント

スペインのガスネットワーク、特にカルタヘナプラントのローカルネットワーク、主にトーチ内への水素注入の最初のデモステレーションを目的とした R&D プロジェクト。

このパイロットは、注入プラントの運転に関するノウハウの取得、天然ガスと混合された水素の%mol の分析につながる。

### HIPS-NET (パイプラインシステムの水素 - ネットワーク)

36 のメンバーが関わる国際的な協力。

その目的は、進行中のプロジェクトおよび完了したプロジェクトに基づいて、天然ガスグリッド内の許容水素濃度に関する情報を収集し、ヨーロッパの共通理解を確立することである。それに加えて、それは、天然ガスネットワークへの水素の注入に関連する全ての側面、一般に水素経済、および P2G 技術に関連する側面、P2G に関する情報を収集する。

GERG プロジェクトと見なされるこのコラボレーションは、2014 年に始まった。

### HYREADY (水素注入のための天然ガスネットワークを準備するための工学ガイドライン)

異なる割合の水素の注入が天然ガスの送配電ネットワークの構成要素の健全性および運用にどのように影響するかを特定することを目的としたプロジェクト。

2017 年に開始され、2019 年まで続くと予測されているプロジェクトは、今日 15 のパートナー (ヨーロッパとアメリカのガスネットワーク事業者) によって構成されている。

Enagas は再生可能ガスを輸送する準備ができています

## 1-15 Engie Hydrogen Business unit Gregory Bartholome



(会場写真を削除しました。)

再生エネルギーに基づいた水素—どうして、何を、どのように

### アジェンダ

- エンジーとは、水素に関する展望
- 再生エネルギーベースの水素に市場は存在するか

・グリーン水素についてこの市場を捉える解はあるか

エンジーとは

グローバルなエネルギーおよびサービスグループで、低炭素発電、主に天然ガスと再生可能エネルギーに基づいている。  
2117年の売上は650億€、70カ国に15万人の従業員

エンジーの水素ビジョン；グリーン水素を主流にする

長期ビジョン

エンジーは100%再生可能な世界に対するそのビジョンを定義（そしてモデル化）した

持ち帰る3つのキー

- ・有形性；効果的な水素ロードマップが明確に示されていれば、このビジョンは具体的かつ達成可能である
- ・統合化されたバリューチェーン；効率へのこの長期的なビジョンにおいてバリューチェーン全体を考慮する必要性は、地域に経済的および社会的価値をもたらす
- ・経済学の出口；このビジョンへの道に沿って進めば競争力はすでに今日到達可能である

そして化学業界はこのビジョンにおいて果たすべき明確な役割を持っている

- 1、大規模なグリーン水素が安価な再エネ施設によって作られる
- 2、地域の複合利用ビジネス；電気、温熱、冷熱、処理過程、輸送
- 3、限られた再エネポテンシャルを持つ地域へのグリーンエネルギーの輸送
- 4、マルチユース、グリーンオフター

## 2-1 Ballard Nicolas Pocard



(会場写真を削除しました。)

燃料電池は破壊的な技術が必要である

パワートレインの電化はすでに自動車産業を混乱させてる

燃料電池技術は輸送の完全な脱炭素化を達成するために必要とされる

2018 年の市場状況は

- ・大型の燃料電池自動車の配備
- ・燃料電池列車とトラムが線路を走っている
- ・多くの OEM の FCトラックやバスが開発中である
- ・海上輸送の要求が高まってきている
- ・グローバルイニシアチブは 55 のメンバーに拡大
- ・新しいメンバーが水素サプライチェーンに参入
- ・車のサプライチェーンに燃料電池技術の取り込みが調査されている
- ・燃料電池が 3 万時間の耐久性を持つことを実証

燃料電池は太陽光と風力の生産量の曲線に乗ってきた

KPMG コンサルティングの調査によると燃料電池車が電動車の突破口になり得るかを尋ねたら 79%の人がイエスと回答した

燃料電池技術が本当に破壊的であるために何が必要か？

1. 製品性能を向上させコストを削減するための技術への投資を継続する
2. 自動車産業と協力して水素パワートレインを産業化する
3. コスト競争力のある再生可能エネルギーを用いたグリーン水素の生産拡大
4. テクノロジーの中立を維持するために政府と都市を結び付ける

2030 年の姿

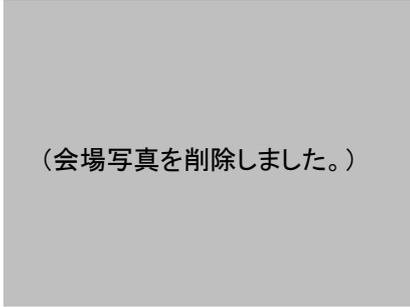
100%脱炭素水素を運輸燃料として使用

- ・何百台の燃料電池バスが走っている
- ・50 万台の燃料電池トラックが稼働
- ・1-10 の燃料電池列車が現在電化されていない路線に導入
- ・最初の燃料電池クルーザーが創業を始める

水素評議会のビジョンは達成可能

バラードは燃料電池を持続可能な地球のために届けていく

**2-2 New Energy Coalition Patrick Cnubben**



北オランダのグリーン水素 分子の力

促進市場

グリーン水素経済

2030 年北オランダには

27 万トンの水素総生産量となる

- ・12 万トン；北オランダの化学品
- ・3 万トン；運輸
- ・2 万トン；グリッドバランス
- ・10 万トン；パイプラインにて北オランダ地域外へ

地域が結託して水素をビジネスにする必要がある  
より広い地理的スコープ

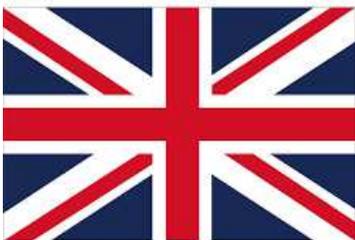
優先度

インフラ；港湾地区、エネルギー、輸送

市場；工業、モビリティ、建築、ネットバランス

人的資本とイノベーション

### 2-3 Logan Energy Bill Ireland



地域水素のイニシャチブ

ローガンエナジーとは

1995年にアメリカ合衆国で設立

2005年 LEC をスピンオフして英国にローガンエナジーを設立

2008年 SSE とスコットランド企業が投資し株主となる

2016年 Dunelm Energy が SSE 株を取得

2017年 n-tropy Group がサプライチェーンの制約により設立される

・ローガンエナジー(株)はグループのエンジニアリングとコンサルティングをする会社として継続

・産業セグメントまたは活動別の 4 つの完全子会社

・H2 Tec 水素エネルギーシステムの製造

・Ene Tec 水素関連機器の配布

・FuelCellUK 水素自動車システム

・ProtonPower 水素設備の運用とメンテナンス

・工場はイギリスエディンバラ均衡のウォリフォードに開設

2018年 H2Tec BV をオランダのフローニンゲンに設立

## 活動

・エディンバラをベースにエネルギーソリューションを提供

・エネルギーシステムの統合

・エネルギーセンター

・エネルギー貯蔵

・独立した水素エネルギーシステムの統合の製造事業者

・水素製造と水素ステーション

・製品開発

・政策のアドバイザー

## 価値命題

・トータルパッケージのデザインと統合

・あなたの技術をあなたの顧客のためにオーダーメイドの、使用可能な解決策を統合すること

・競合しない戦略的適合

・デザイン、統合、製造

・プロジェクトマネジメントと継続的なサポート

## プロジェクト

1.1MW の燃料電池 CHP コージェネシステム CCHP 冷熱温熱コージェネシステムを設置 > 98%の委託容量  
(commissioned capacity)

3 箇所の水素ステーション (5 箇所になる予定)

・2008年 TfL Palestra ビル

- ・2012年 Quadrant 3
- ・2014年 20 Fenchurch Street
- ・2013/15年 陸上での水素製造、貯蔵、分配／オンボードでの水素の充填、貯蔵、配達
- ・2015年 DECC（英国のエネルギー気候変動省）の水素タウン
- ・2017年 スコットランドファイフのレベンマウスでの自動車への水素充填、エネルギー貯蔵システム
- ・2018年 HyTIME-Wembley
- ・2018年 SEAFUEL-Tenerife
- ・2018年 Gencomm-Northern Ireland
- ・2018年 ILES-Saabrucken

どうして私たちがここにいるのか

エネルギーのトリレンマ（3つの選択肢）

- ・供給の保障
- ・炭素の削減/持続可能
- ・費用負担

現在の暖房冷房の需要はドイツ、フランス、英国、イタリアの順である

再エネ貯蔵方式は短期のものから長周期にかけて

フライホイール、電池、断熱圧縮空気、揚水、水素、代替天然ガスとなる

再生可能エネルギープロファイル

- ・年間風力と太陽光のバランスをとる可能性
- ・変動の異なる期間
  - ・一秒未満、秒分、時間日
- ・異なった状況での異なった解

レベンマウスでのコミュニティエネルギープロジェクト

- ・910KW に発電能力を増強
- ・マイクログリッドネットワークを増加
- ・水素エネルギー貯蔵システム
- ・二つの水素ステーション、PEM とアルカリ方式
- ・エネルギーマネージメントシステム
- ・17 台の車両
- ・田舎の水素の検討
- ・2017年4月よりフル稼働

HyTIME ; 経済的な独立した水素ステーション (HRS)

- ・ヴェオリアが 2 台の RCV（ゴミ回収車）をウエストミンスター市で実現
- ・350bar>10kg/day
- ・コンパクトで経済的なデザイン
- ・工場で全体を組み立て
- ・現場で簡単に設置

（図面を削除しました。）

#### Interreg – Seafuel

- ・大西洋地域全体の再生可能資源を利用して地元の輸送機関に電力を供給
  - ・太陽光、風力、海洋のパートナーの専門知識とインフラ
  - ・燃料としての水素の可能性をデモ
- ・低炭素経済へのシフトをサポート

#### SEAFUEL;テネリフェ島のプロジェクト

- ・350 気圧の水素ステーションで地域の燃料電池車の充填を実施
- ・デザインして設置しスコットランドの委託を受けてテネリフェ島にて運用した
- ・51MW の再生可能エネルギーの発電機を設置
- ・125 m<sup>3</sup>/日の淡水化プラント
- ・1 日あたり 25kg の水素を作り 350 気圧の水素ステーションに提供

#### SEAFUEL の成果物

- ・テネリフェ島における完全に機能する水素の製造パイロットプラント
- ・一部ディーゼル車を水素燃料電池車に置換え
- ・2 つのケーススタディ
  - ・アラン諸島、アイルランド
  - ・マデイラ、ポルトガル
  - ・将来の水素生成のための指針を提供するために、場所、資源および現在の再生可能エネルギー設備を研究する
- ・水素をもう 1 つの燃料インフラとして促進するための 5 つの再生可能エネルギーロードマップを掲示
- ・SEAFUEL パイロットを他の地域に適応させるためのツールキット

#### GENCOMM プロジェクト–Viridian

- ・Viridian（アイルランド島アントリウム州）
  - ・WINDH2STO

- ・風力→水素→貯蔵
  - ・2 台の水素トレーラーを供給し、維持するための入札で落札
- GENCOMM プロジェクト-IZES
- ・IZES (ドイツ、ザールブリュッケン)
    - ・SOLH2TRANSP
    - ・太陽光→水素→輸送
  - ・700 気圧のサプライの入札で落札
    - ・自動車(FCV)への充填
  - ・35kW のソーラ発電

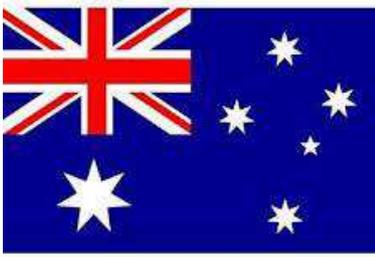
#### 方針、立法と給付

- ・実行可能なエネルギー戦略
- ・調整された法律
- ・大企業のロビー活動—利他主義
- ・平等な競技場
  - ・洋上風力—補助金
  - ・バイオ燃料—補助金
  - ・O&G (石油とガス) 炭素排出のペナルティ無し
  - ・EV 一台—£ 5000 補助金
  - ・水素はまだ、、、英国 再生可能輸送燃料義務命令 (RFTO)
- ・EV のグリッド強化コスト£ 16B は、暖房、冷房などの変更はもちろんのこと
- ・水素は解決策として認識されているが信頼できるサポートはない
- ・水素業界は 700 気圧でのドライブがかかっているが 350 気圧より高価である
- ・燃料電池自動車の可能性

#### 結言

- ・エネルギー供給は変化してきている
- ・再エネの比率は更に増加している
- ・エネルギー貯蔵が必要である
- ・エネルギー使用量を変える必要がある
- ・300%の再生可能エネルギー発電を目指して
- ・水素はエネルギーミックスの一部である
- ・セクターシフトは経済的な選択肢であり、今では正しい用途に

## 2-4 Government of South Australia Joe Doleschal Ridnell



(会場写真を削除しました。)

#### 水素経済の発展

南オーストラリア州はアジアの玄関口でアデレードから毎週 9 カ国に 55 便の直行便が飛んでいる  
主要インフラによって支えられた戦略的なグローバルロケーション

#### オーストラリアの再エネ登録状況

ガス ; 43%、風力 29%、ディーゼル+小型 9.1%、屋根上の P V 15%、太陽光 2.2%、保存 1.6%

#### どうして水素、どうして南オーストラリアなのか

私たちの使命は、クリーンで安全で持続可能な水素の生産者、消費者そして輸出業者への南オーストラリアへの移行を加速することである。

#### どうして我々が成功しているか

- 1、国家戦略と支援に支えられて
- 2、世界クラスの風力発電と太陽光発電の埋蔵量に支えられた高い再生可能エネルギー開発
- 3、アジアへの近接と成熟した貿易関係
- 4、水素を地域で利用するための多様な機会

#### 進行中のプロジェクトと初期のレッスン

- 1.クリスタルブルックスーパーハブ。1 日あたり 25,000kg 水素
- 2.ポートリンカーン水素発電所
- 3.南オーストラリア州水素パーク
- 4.マウソン湖

#### 再生可能エネルギーシステム

#### 水素安全に関する国際会議、2019 年 9 月

- アデレードは水素安全に関する第 8 回国際会議を主催する
- この会議がオーストラリアで開催されるのは初めてで、過去数年間に行われた作業を認識している
- 会議の主催者は現在予約を受け付けている

## (2-5)California Hydrogen Business Council(CHBC) Cory Shumaker



(会場写真を削除しました。)

### グリーン水素への競争

#### カリフォルニアにおける再生可能水素製造の現状に関する最新情報

カリフォルニア水素ビジネス協議会 (CHBC) は、110 以上の企業、機関、水素ビジネスに携わる個人で構成されている。私たちの使命は、輸送、物流、定置型電力システムなど、エネルギー分野における水素の商業化を推進して、カリフォルニアの排出量と石油への依存を減らすことである。

CHBC の活動：

- ・政策提言
- ・戦略的コミュニケーション
- ・商品の移動、大型輸送、およびきれいな港湾都市
- ・水素エネルギー貯蔵と再生可能水素
- ・公共交通機関
- ・インフラ

メンバー

- ・水素製造業者および流通業者
- ・自動車会社
- ・公共交通システムとサプライヤー
- ・燃料電池、電気分解装置、コンプレッサー、ストレージメーカー
- ・給油所開発者、エンジニア、コンサルタント
- ・市、州、および連邦の機関
- ・部品サプライヤー

カリフォルニアは水素エネルギー採用でアメリカをリードしている

一般的な水素の誤解

世界全体で、すべての水素のうち 95%以上は化石燃料ベース（石油精製、アンモニア、化学薬品、食料生産のための水素を含む）

- ・カリフォルニアの交通市場では再エネ水素は 37～42%を占める

## 再生可能な水素州（＝カリフォルニア）政府の法律

- カリフォルニア州議会法案 8（AB8） - 2013 年 9 月
  - カリフォルニア州エネルギー委員会は 2024 年までに年間 2000 万ドルを提供し、少なくとも 100 の水素燃料補給所に資金を供給する。
  - 政府が資金を供給したステーションからの水素の 33%が再生可能であり、後にすべての（私用を含む）ステーションに適用可能
- 知事ブラウンは大統領令 B-48-18 - 2018 年 1 月に署名した
  - 2030 年までに 500 万台の ZEV を 100 万台の FCEV で目標達成
  - 2025 年までに HRS200 箇所、EV 充電器 25 万台に達する 8 年間の 25 億ドルの計画を提案。水素ステーションの年間資金調達額を 9,200 万ドルに要求
    - 州政府による支援を受けない。
- カリフォルニア上院議員法案 1369 年 - 2018 年 9 月
  - 「グリーン電解水素」の定義を確立する。州政府機関に州のエネルギー計画でグリーン電解水素を考慮するよう要求する

## 再生可能水素製造のための国家資金

- カリフォルニア州エネルギー委員会：GFO-17-602 再生可能水素輸送燃料製造設備およびシステム
  - 代替および再生可能な燃料および自動車技術プログラム
  - 輸送用の 100%再生可能水素製造のために資金を供給された-3 プロジェクト
- カリフォルニア州航空資源委員会：ゼロおよびゼロに近い排出貨物施設プロジェクト
  - 大胆で変革的な排出削減戦略を支援するための 1 億 5000 万ドル

## カリフォルニアのオンサイト水素製造ステーション

- 130 kg /日
- 700 気圧
- ハイドロジェニクスの電解装置
- カリフォルニアの 39 箇所の公衆水素ステーションのうち 5 箇所は 100%再エネ
  - (Riverside, Ontario, Playa Del Rey,Hollywood, Emeryville)

## 低炭素燃料規格クレジット

- 2007 年 1 月 19 日、カリフォルニア州知事 Arnold Schwarzenegger が Executive Order S-1-07 を発表した。
- California Air Resources Board は、使用されるエネルギー源に応じて量が異なる水素を製造するためのクレジットを発行する。
- 開発中の水素容量に対する新たなクレジット - 全需要がなくても容量の増加（より大きなステーション）を奨励

	100% Renewable Electrolysis <sup>A</sup>	100% Dairy Biomethane SMR <sup>B</sup>	100% Biomethane SMR <sup>B</sup>	33% Biomethane SMR <sup>A</sup>	Natural Gas SMR (Gaseous H <sub>2</sub> ) <sup>A</sup>	Natural Gas SMR (Liquified H <sub>2</sub> ) <sup>A</sup>
CI Score (gCO <sub>2</sub> e/MJ)	0	-300	54	88	106	144
FCEV EER-adjusted CI	0	-120	22	35	42	57
<b>Credit Value (\$/kg)</b>	<b>\$2.90</b>	<b>\$6.50</b>	<b>\$2.25</b>	<b>\$1.84</b>	<b>\$1.62</b>	<b>\$1.17</b>

1 kg ≈ 1.04 GGE

<sup>A</sup> Certified LCFS Pathway  
<sup>B</sup> Staff Estimate

[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/fuels/lcfs/lcfs\\_meetings/12052016presentation\\_h2.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/fuels/lcfs/lcfs_meetings/12052016presentation_h2.pdf)

### 再生可能な水素製造経路

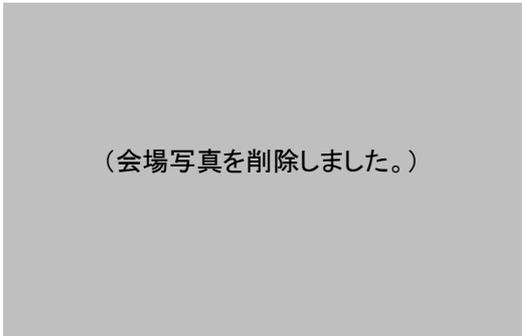
風力、太陽光→水電解装置→水素

カリフォルニアの風力発電所 = コーチェラバレー (パームスプリングスエリア)

### カリフォルニアの 100%再エネ指針

- 2018 年 9 月からの SB100 では、カリフォルニアの電力部門は 2030 年までに再生可能エネルギー60%、2045 年までにカーボンフリー100%に移行することを要求されている。
- 再生可能エネルギーとエネルギー貯蔵への大幅な移行が必要

### (2-6)NIPROXX Michael Ismar



炭素繊維強化プラスチック (CFRP) TYPE4 の高圧水素タンク

### ビジョン

- 私たちは開発、精密設計、エンジニアリング、製造、テストそして加圧ガスシステムの文書化に焦点を合わせる
- 私たちは、無排出および/または排出削減技術を信じている
- 私達は良質の標準と文書要件の適用を目指す
- 私たちはシリーズ製造会社である (単位 : 千 (K) )

### 会社背景

NPROXX の起源は、長年にわたって排出量ゼロエネルギー分野の最先端の精密工学に基づいている。  
- 洗練された研究開発と 40 年間の経験

CFRP 製容器等の連続製造製品（HT および UHM 繊維）

- 世界でも有数の CFRP メーカー  
精度、品質、そして出力
- ETC 企業グループの一員

製造工場：

- アルメロ（オランダ） 200 FTE
- ユーリッヒ（ドイツ） 200 FTE

ETC グループ



フライホイール



ローラー



水素圧力容器

タイプ 4：特性

- ・車両：重量が燃料システムまたは車の重量の削減につながる
- ・輸送：より多くの水素量
- ・より高いエネルギー密度が可能（350～900 bar）
- ・優れた耐食性
- ・炭素繊維：優れた耐疲労性

商品 - 水素ステーションおよび輸送用

- タイプ 4
- 300 および 500 気圧
- ライトウェイト
- 長寿命
- 耐食性
- 耐荷重性
- 取り扱いが簡単
- 実績のある品質
- シリアル製品
- ADR / TPED 証明書

機能

次の基準に準拠する高圧タンクシステムの設計と開発

## 圧縮水素ガス (CHG)

- EC 79
- GTR 13
- 国連 EC R 134
- ISO EN 12245

## 圧縮天然ガス (CNG)

- UN ECE R 110

圧力容器の寸法（供給の範囲）：

- 直径 100 mm から最大 600 mm、長さ最大 4000 mm

## 水素システム；輸送と貯蔵

### アプリケーション

- 静止した保管
- モバイルパイプライン
- プラグアンドプレイストレージ市場
- 水素燃料補給インフラ
  - 車、バス、電車、トラック、フォークリフト
- ガス輸送
  - 化学工業におけるプロセスガスとしての水素

### USP

- 1 台のトレーラーで 1000kg H<sub>2</sub> @ 500bar
- 最適化されたコンプレッサ利用とフットプリントのためのカスケード吐出
- 水素ステーションでの及び移動式での適用

## 水素システム；ヘビーデューティー車

### アプリケーション

- ディーゼル（電気）駆動系の交換
  - 通勤電車
  - E バス
  - E トラック

### 市場

- 通勤電車
- 都市部向け E バス
- 都市部向け E トラック

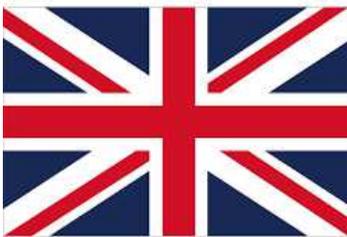
### USP

- 燃料ノズルから FC までの「ワンストップショップ」ソリューション
- システムコスト - 価格性能比 \$ / kgH<sub>2</sub>
- 最適化された統合の概念

製品；自動車と大型車

- シングルタイプ 4 圧力容器または
- 充填から消費までの貯蔵システム
- 設置場所の広さに応じてカスタマイズ
- 350 および 700 bar
- ライトウェイト
- 実績のある品質
- シリアル製品
- EC 79 証明書

## (2-7) Haskel Robert Kelly



(会場写真を削除しました。)

統合化されたサプライチェーン；低価格インフラへの道

挑戦的な時代…何も新しい

- 私たちにとっての最大の関心事は、費用対効果の高いインフラの可能性である
- 燃料補給インフラストラクチャの欠如は燃料電池車を本格展開する上において依然として主要な障壁である。
- それは超高層ビルを建設するようなもので、基礎を作るのが最も難しく、それが出来ればその後の話はすぐに進む。
- 私たちは長期的に見ればペイするので水素インフラに投資していますが、ビジネスモデルは収益性がないとだめで、何十年も国補助金を望んでいる人はいない
- これは知的運動ではなく事業でなければならない

Haskel とは

- アクュダインインダストリーは十分な資金と経済的に安定した 9 億ドルのグローバル企業
- 150 カ国に 10 の製造拠点があり 70 年以上の歴史を持つ高圧ガスと液体の流量制御装置のグローバル製造
- 世界中のさまざまな業界の大手 OEM による運用においてカスタマイズされたシステムとスキッドが成功している
- 最近パッケージ化された HRS (水素ステーション) ソリューションを実施

水素充填の成功の原動力

エアドライブガスブースター：100 MPa まで

水素サービスで 250

大容量システム用の油圧駆動ブースター

100 MPa > 1,000 kg /日

水素補給サービスで 100

BuTech の弁、付属品および管

- ・事実上あらゆる合金で利用可能
- ・重要な圧力に対する長寿命
- ・15 万 PSI (10,340 バール)
- ・-432°F (-253°C) を超える 1200°F (649°C)

・液体水素

タンキーソリューション (HRS)

- ・分子にとらわれない
- ・最大 70 MPa
- ・J2601 準拠
- ・完全にテスト済み
- ・80% 自社製造

問題 (大まかに言って)

- ・給油所は、実現サービスの一部を形成している
- ・コンポーネントは再販品目として調達される。
- ・GAAP / FRC / 個人の方針
- ・サプライチェーンを通じて複数の利益幅が拡大
- ・100€10%の利益率で
- ・1 = 111€
- ・2 = 123€
- ・3 = 137€
- ・4 = 152€
- ・5 = 169€

投資と運用コスト (大量輸送)

それがすべて高レベルでうまくいく方法

- ・市場のフィードバックに基づく (大量輸送)
- ・分子ジェネレータを除く
- ・統合サプライチェーンにより、最大 15% のコスト削減
- ・Capex は固定費配分として Opex に大きな影響を与える
- ・10 年間で 10 万ユーロの HRS に基づく
- ・1kg / GGE に基づく

- ・200 kg /日
- ・1.37€GGE コスト
- ・0.21€コスト削減 GGE
- ・Capex が公共交通機関事業者にとって Opex に影響を与える
  - \* GGE (ガソリン・ガロン・同等値)

モデル

分子にとらわれない

コアコンピタンスに焦点を当てる

SBO (全電源喪失) による在庫陳腐化の最小化

垂直統合

全体的な一企業会計を使用する

社内テストでリスクとコストを削減

プラグ&プレイ

予約を最小限にする

契約構造を再定義する

進歩のためのパートナーシップ

GenoSys

- ・ラピッドデザイン
- ・モジュールブロック
- ・FTE を削減
- ・顧客と出会うためのデザイン要件
- ・設計時間を短縮
- ・顧客主導のソリューション提案

## (2-8) Ballard    Nicolas Pacard



(会場写真を削除しました。)

大規模商用車両の展開

- ・アメリカでは 15,000 台以上の FC フォークリフトが稼働している。
- ・プラグパワーは水素燃料供給や資金調達を含む完全なターンキーソリューションを提供
- ・上海に 300 台の配送トラックを配備 (Refire / BOM)
- ・BOM 子会社が購入したリース車オペレータへのモデル
- ・新エネルギー自動車プログラムのインセンティブ
- ・JIVE (1 および 2) 300 バス導入プログラム
- ・FCH-JU によるバスおよび H2 インフラストラクチャへの資金調達、ならびにバス価格を引き下げるための共同調達
- ・東京 2020 年オリンピック 100 バス計画
- ・政府とトヨタの支援

#### 上海の燃料電池トラック (300 台)

- ・500 台の Dongfeng 7.5T トラックが製造および認可されています
- ・30kW の Refire パワーモジュール (Ballard stack)
- ・9kg の H2 貯蔵庫 (古井)
- ・新エネルギー自動車補助金 (€15 万)
- ・水素価格@€5.5/kg
- ・トラックは STNE が所有し、ロジスティックにリースされている JD.com のような企業

#### 次に何が起こるか

現在 1 万台の燃料電池車が 2030 年に 1 千万台に・・・

2018 年 ; 1 万台の燃料電池自動車、

1000 台の燃料電池バスとトラックが稼働中

2020 年 ; 350 FCEB(バス)以上ヨーロッパ (JIVE) の道路、

100 FCEB(バス)東京 2020 オリンピック、

2,000 燃料電池のバスとトラック山東省 Weichai

5000 FC カー2020 年までに中国の道路

2025 年 : 40,000 台の車両日本の道

600 FCEB ヨーロッパの道

スイスの 1000 FC トラック

ノルウェーの 1000 FC トラック

韓国 (ヒュンダイ) の 1000 FCEB

中国で稼働する 5 万台の FCV のうち 1 万台は商用車、4 万台は乗用車

2030 年 ; 中国で 100 万台の FCV

水素協議会のビジョン、1000 万から 1500 万の燃料電池車と 50 万台のトラック

#### 資金調達から財務への移行支援プロジェクト

##### 資金調達

- ・政府または顧客からの資金援助による実証プロジェクト

- ビジネスケースなし
- 1～10 台
- 資金提供元：FCH-JU、現在  
インセンティブ
- 「橋渡しギャップ」助成金によるパイロット展開
- 検証済みの価値提案
- 20～100 台
- 補助金：FCH-JU、CARB -HVIP（カリフォルニア州）、New Energy Vehicle（中国）
- ファイナンス
- 商業展開（資金援助による）
- 検証済みビジネスケース
- 100 台以上の車両
- 政府銀行（EIB…）または個人投資家からの資金調達

成功への鍵；エコシステムとビジネスケース

自動車メーカー、水素の供給と水素インフラ業界と、技術プロバイダーが工業化を推進し、SPV（特別目的事業体）やリース業者が次の提案を企画し

- 魅力的なビジネスケース
- 実績のある性能と信頼性
- 自動車リースまたは販売契約
- アフターサポート
- 水素供給契約

運送業者に売り込んでいく

現在の課題

- 自動車 OEM の臆病な関与（特にトラック用）
  - テクノロジーの未熟性
  - 今日のコストに基づいた困難なビジネスケース
  - 車両のコストがまだ高すぎる
  - 水素コスト（インフラを含む）がディーゼルと同等ではない（5～6ドル/ kg）
  - 車両メンテナンス費用
  - 契約終了時に燃料電池車の残存価額がない
  - 金融機関による FC 技術の理解なし
- =>現在のリースは提供されていない（中国国外）

燃料電池バスに新しい経済価値命題が現れた。

2020 年までに全世界で 2000 台以上の燃料電池バスが稼動する  
多数の OEM 業者が異なる燃料電池バスのバージョンを提供している

一部の地域では、過剰な再生可能エネルギーによってより安価なグリーン水素の製造が可能になる

産業界は現在、燃料電池電気バスの大規模な商用展開を開始する準備ができている

- ビジネスケースを機能させるのに大きな発明は必要ない。必要なのは、バスの配備と水素製造・配給装置のスケールアップだけである。
- 再生可能エネルギーが安価になりつつあり、化石燃料と同等になる。これは本当に環境に優しいそして手頃な価格の水素を可能にする。
- 必要な技術は成熟しており信頼性がある。規模が大きければ、十分な OEM セットアップでディーゼルバスを確実に入手できるようになる。
- PTO / PTA は現在バッテリーバスの導入を試みているが、特に困難な路線では、バッテリーの限界（航続距離と燃料補給時間）が進歩を遅らせている。
- 主要都市では、空気中に浮遊する粒子状物質の濃度とその二酸化炭素排出量を削減したいと考えている。これは水素で実現可能である。

私たちは持続可能な地球のために燃料電池電力を供給する

## 2-9 Clan Tecnologica Group

## Francisco Montalban



(会場写真を削除しました。)

持続可能なモビリティの新しいシナリオにおける挑戦と機会 2019-2050 - HRS(水素ステーション)

### 目的

ハイライト工学の仕事は簡単で安全な商用車への水素燃料電池実装の進歩を可能にする  
BEV または FCEV を買おうと決心しやすくする。

### 内容

1. はじめに
2. 水素製造のためのエネルギー
3. 水素製造／貯蔵の集中化
4. 圧縮戦略とテクノロジー

5.貯蔵および流通設計：効率的かつ安全。

6.統合；信頼性と安全性

7. HRS の規則を厳守する。

8.スペース

9 破壊的なトレンド

10.結論

11. H サイド - HRS コンセプト

## 1. はじめに

クリーンモビリティパリ協定の実施

2019 年から私たちは自動車、トラック、バスの燃料補給方法に関連する現在のインフラの変化を先導しなければならない…

2030 年は予想より早く到着する…。

そして 30%が大きな目標である……

2050 年の気候の中立性…

私たちは燃料電池車に水素を充填するための新しいステーションを作らなければならないし、現在の給油所に水素を導入していかなければならない。

エンジニアリング会社にとって大きな挑戦と機会になる

## 2. 水素製造のためのエネルギー

HRS は GREEN Hydrogen を使用するべき。実際の CO2 削減効果が期待。

グリーン水素製造の成長も可能にするための世界的に有名な設備を増やす。

水電解を用いた水素のエネルギー貯蔵

## 3. 水素製造／貯蔵の集中化

より良いエネルギー効率：より高い水素生産レベルでのより良い比率 kW / Kg。

再生可能な所有者のためのより良い数字。（販売水素は kW だけよりも多くの利益）。

BEV（Battery Electric Vehicle）よりも競争力のあるシナリオ。

HRS インフラをより速くそして最も簡単な方法で拡張するためには、中央水素製造が最良の戦略である。

## 4. 圧縮戦略とテクノロジー

エネルギー供給も重要です。（kW/kgH<sub>2</sub>）。

エネルギーを減らすための新しい技術を探す。

メンテナンス：できるだけシンプル。

小型でコンパクトなユニット。

最長寿命。

## 5. 貯蔵および流通設計：効率的かつ安全

HRS の初期のステップは、中核的な水素生産と中圧ストレージと考えるべき。

効率的な配送網が必要になるだろう。（300 気圧～500 気圧）

保管および輸送に関する国の規則に従う。

トラックと規則はより高い圧力のポンペの道路通行を許容するようにし、500 気圧は良いが900 気圧であれ

ば更に良い…HRS 拡張を容易にする。

## 8.スペース

できるだけコンパクトで小型。実際の石油ステーションで HRS を統合するために  
すべて標準 ISO コンテナに統合されている 20 - 40 フィートマキシマム  
使いやすいさとメンテナンス。

リモートコントロール。

## 9 破壊的なトレンド(2030 年に向かって)

大規模で効率的な再生可能エネルギー統合を可能にする。水素コストの削減  
新しい水素および FC の生産 - 圧縮 - 保管元。信頼性と安全性  
サプライチェーンの完全な接続性 (IoT、M2M など) 。

セクターや地域を越えたスマートな水素配分。

自動運転の自動車のための HRS の完全自動化…

## 10.結論

水素は再生可能エネルギーを使って生産されるべき。

最低水素価格 (<4€/ Kg コスト) 。 BEV に対して競争力があること。

電解効率の向上。より少ない kW / Kg、より少ないスペース、より少ないコスト。

中央集中型水素製造と効率的な流通ネットワーク。

HRS のための最も簡単な設計戦略。

新しい圧縮技術。電気化学技術

より少ない CAPEX。より少ない OPEX、より少ないスペース、……より少ないエネルギー消費。

輸送 : > 500 bar の可能性…

いくつかの HRS インストールをより簡単にそしてより安くすること…

H2 / Km 消費量の少ない FCEV。 BEV + FCEV ハイブリッドオプション…

BEV よりも競争力を高める。燃料電池スタックの改良。

ストレージ : 規模の経済超高圧貯蔵のためのコストの削減。

コンパクト HRS デザイン。 HRS の標準化…

水素 HRS、またはその他の H2 インストールに関するグローバル統一ルール。

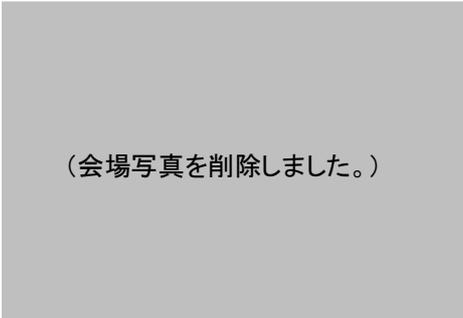
## 11. H サイド - HRS コンセプト

ClanTecnológica によって開発された SIDE H は、標準コンポーネントから構築された完全なソリューションである。

設計、エンジニアリング、設置、試運転、立ち上げ、アフターメンテナンス、トレーニング



2-11 Fundacion Valenciaport Jose Andres Gimenez



重量物流にける脱炭素化

目次

1. バレンシア港の紹介

サグント港

荷扱量 5.72 ミリオトン、20 フィートコンテナ換算で 5 万 2 千台(TEU)Twenty foot Equivalent Unit)

車の荷扱 27 万台

バレンシア港

荷扱量 67.49 ミリオトン、20 フィートコンテナ換算で 4.78 ミリオン台

乗客 ; 103 万人、定期船 62 万人、クルーザー41 万人

車の荷扱 ; 52 万台

ガンディア港

0.35 ミリオトン

バレンシアポート全体で 73 ミリオトン、20 フィートコンテナ換算で 4.83 ミリオン台

全世界の

2. 港のコンテナオペレーションの経験による脱炭素化

(ア) 天然ガスの液化

(イ) 電化

3. 次のステップ ; 水素

4. 結論

EV 式トレーラー

バッテリー

走行用バッテリー容量 206 [kWh]

牽引電池式リン酸鉄リチウム

公称電圧 299 [V] (260~380 ボルト)

現在の 700Ah

ドライブライン

パワー/トルク 160/180 馬力@ 1800-2800

RPM 633/712 Nm @ 0-1800 RPM

自治

6 時間 (1 運転シフト)

充電時間

3-5 時間以内 (プラグタイプによって異なる)

LNG と電化

LNG ターミナルトラック

ディーゼルと同様の給油時間

ディーゼルと同様の設備コスト

LNG の入手可能性

ディーゼルより自律性が低い

ゼロエミッションではないソリューション

全電気式ターミナルトラック

ゼロエミッションソリューション

ディーゼルより低い電気料金

ディーゼル燃料補給よりも高い充電時間

自律性が低い (6 時間以内)

設備費はディーゼルよりはるかに高い

## 水素燃料電池リーチスタッカーとヤードトラック

場所：MSC コンテナターミナルバレンシア（コンテナ事業）/バレンシアターミナルヨーロッパ（ro-ro 事業）

フリート燃料消費量：2 Mio L /年

稼働時間：5,000 時間（2 年間）

燃料電池の電力範囲：90～120 kW リーチスタッカー

60～80 kW ヤードのトラック

### 利点：

- 地域のゼロエミッションとパワートレインノイズ。
- エンジン、トランスミッション、その他の機械駆動部品を排除することで車両のメンテナンスコストを削減。
- バッテリーパックを小型化し、8 時間の自律性を保ちます。
- パワートレインへの通電と回生ブレーキ/負荷管理によるエネルギー回収によりトータルエネルギー量を削減

### 結論

- 港湾コンテナの運営は、脱炭素化することができる（しなければならない）。

低炭素/ゼロエミッション燃料。

- この作業はやりがいがある。すべての港湾事業者が準備を整えているとは限らない。

ゼロエミッションソリューションへの移行。

- ゼロエミッションの代替案について、港湾業界には知識と認識のギャップがあり、成功例とのギャップを埋める必要がある。
- テクノロジープロバイダー間の協調的イノベーションの必要性

### ユーザー

- 経済的実現可能性と短期間での返済は、実際の破壊的なテクノロジー（水素など）の実装において重要な要素である。

添付資料1-7

2018 年度 海外出張報告書

報告書作成日 2019 年 3 月 13 日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	台湾における水素・燃料電池関連活動の調査
4. 出張者	パナソニック
5. 出張先	台湾大電力研究試験中心(桃園市) 工業技術研究院 (台南市) Asia Pacific Fuel Cell Technologies (苗栗) 国立台湾海洋大学 (基隆市)

6. 日程:

- 2019 年 3 月 5 日 (火) 日本発 桃園着後 台湾大電力研究試験中心  
2019 年 3 月 6 日 (水) 工業技術研究院、Asia Pacific Fuel Cell Technologies  
2019 年 3 月 7 日 (木) 国立台湾海洋大学、帰国

7. 出張概要

7.1 出張の背景と目的

昨年秋に日本電機工業会に訪問した中華経済研究院を通して、台湾での水素・燃料電池への取組みの状況を調査する。

7.2 調査概要

7.2.1 台湾大電力研究試験中心 (3/5 15:00-16:30)

面談者：総経理 Y 博士

研究企画 所長 H 博士

研究企画 技師 Y 博士

(1) TERTEC について (総経理より)

【活動目的】

- ・電気工業会のサポート
- ・工業会の要望に応じた試験の実施

【実施内容】

IEC,ISO とハーモナイズした台湾の規定に基づく各種試験の実施

- ・装置、製品のエネルギー効率
- ・省エネ製品の試験
- ・再生可能エネルギー (PV と WT) の試験
- ・水素・燃料電池の試験
- ・高電力試験

・EMC など

規格体系は、IEC,ISO に準じているが一部独自の規定を作成している

・通信基地局バックアップ用燃料電池システム

・スクーター用燃料電池システム

(2) 燃料電池実証試験の紹介

◆バックアップ電源

資料の 19 ページにまとめられているが、定置用と記載されているものはバックアップ用燃料電池システムであり、大半は通信基地局用であり一部鉄道のシグナル用も含まれる

◆スクーター

バックアップ用燃料電池システムについては、国立台湾海洋大学との打合せ報告に含める

(3) 台湾の電力事情

◆年間の電力需要

約  $2100 \times 10^8$  kWh/年 (日本の約 1/5 とのことであるが、確認必要)

◆再生可能エネルギーの導入状況

約 6% (2025 年に目標 20%)

内訳 ; PV+WP=約 2%、水力 約 4%

詳細な電力構成は別紙参照のこと

**7.2.2 工業技術研究院 (3/6 9:30-11:30)**

面談者 : 研究員 L博士、W博士、G氏、H氏

1. 工業技術研究院での燃料電池の研究紹介

PEFC および SOFC を用いた実証試験の紹介

◆PEFC スタックの研究開発

コーティング技術 (PAT 取得)、低圧損設計

スタックの自動製造装置も開発していた

## 2.実証試験等の状況

### ◆バックアップパワーの実証試験

台湾全土に亘って実証および実運用されている

現時点までに、トータル 224kW 出力相当のシステムが設置されている

### ◆中・長期期間の使用については、CHP システム（水素タイプ）を考えているとのこと。

### ◆SOFC 用の改質技術について相談を受けた

研究を開始したところのようで、基礎レベルの情報を提供した。

触媒選定、改質条件等

## 7.2.3 Asia Pacific Fuel Cell Technologies (3/6 14:30-16:30)

面談者：セールス代表 W氏

プロジェクトマネージャー L氏

### (1) Asia Pacific Fuel Cell Technologies について

従業員：約 40 名

スクーター用システムの市場導入にフォーカシングしている。

#### ◆開発の根拠

- ・台湾のスクーター市場は、約 15,000,000 台
- ・政府は、2030 年までに、エンジンタイプを全廃するとの方針
- ・現在の、バッテリースクーターは、約 70,000 台湾ドル（約 26 万円）と高い
- ・台湾のスクーターメーカーである、Gogoro 社は FC スクーターの目標価格を 120,000 台湾ドル（約 43.5 万円）とし、助成金 20,000 台湾ドルを得るとしている。

### (2) スクーター用 FC システム

発電出力：2.4kW スタック この出力でほぼ 50~100cc

システムとしては、1.8 kW

カーボンセパレーターを使用

水冷タイプ

重量：10.5kg

スタック価格：4,500US ドル

寿命について：台湾政府の資料によるとスクーターの走行距離は、約 15km/日

ここから推定すると、10 年使用で約 1825h であり、5,000 h の寿命があれば十分であるとのこと

### (3) 水素貯蔵

・水素吸蔵合金を使用

・キャニスター：1MPa-4.5kg で水素約 45g を貯蔵

- ・スクーターにキャニスター 2 本を装着
- ・キャニスターをコンビニで交換する仕組みを考えているとのこと。  
この開発は、CPC(China Petroleum Corporation)と実施中
- ・20,000 台の FC スクーターが普及すれば、1 US ドル/キャニスター交換（実際には  
充填用と充填済の交換両方で 2 US ドルが必要となる）できると試算しているとのこと
- ・水素吸蔵合金のサイクル寿命は、5,000 サイクルとしているが、Top+energy 社の  
Yen 博士は実際には 500 サイクル程度のはずであるとしていた

#### 7.2.4 国立台湾海洋大学 (3/7 10:30-12:30)

面談者：C教授

Y 博士 (Top+energy 社)

S 氏 (Green Hydrotec 社)

##### (1) 国立台湾海洋大学内に設置されている、バックアップ用 FC システムの見学

システム構成

5kW FC スタックシステム 4 台 (Top+energy 社)

メタノール改質器+PSA (Green Hydrotec 社)

左 58%メタノール水溶液 右 100%メタノール メタノール改質器 PSA は写真左ボックス内



発電システム



- ・Top+energy 社は、2008 年設立で従業員は約 20 名
- ・メタノール改質は、旧 IDATEC 社（USA）が関係しているように思われる。

(2) 国立台湾海洋大学 張教授の研究の紹介

- ・光感応型太陽電池の研究
- ・蛍光体の研究 可視光励起
- ・高分子型ピエゾ素子の研究
- ・SOFC 電極の研究  
コアシェル構造の提案

以上

添付資料  
台湾の電力事情



出所：日台火力発電ワークショップ2019  
(台湾電力公司)

■原子力 ■石炭 ■LNG ■石油 ■再生可能 ■その他

<http://www.jogmec.go.jp/content/300363241.pdf>

## Hannover Messe 2019 出張報告書

作成：



事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
団体名	一般社団法人 日本電機工業会
出張目的	欧州を中心とした燃料電池ならびに水電解水素製造技術の開発・市場動向の調査
出張者	東芝エネルギーシステムズ 本田技術研究所
出張先	Hannover, Germany
日程	2019年3月31日(日) 羽田空港発 フランクフルト経由 ブレーメン着 2019年4月1日(月)～5日(金) Hannover Messe 調査 (山下の旅程) 2019年4月6日(土) ブレーメン発 ミュンヘン経由 4月7日(日) 羽田空港着

**調査目的**

「燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査」の事業目的に基づき、世界最大の国際見本市である Hannover Messe に於いて、燃料電池ならびに水電解水素製造に関する技術開発動向、要求仕様、市場ニーズ等について情報収集を行う。

**Hannover Messe の概要**

ハノーファーメッセはドイツのニーダーザクセン州ハノーファーで開催される世界最大の国際見本市。例年の出展者数は6,000社以上、訪問者数は200,000人以上とされる。

ハノーファーは北ドイツの主要都市のひとつで、フランクフルトの北約260km、首都ベルリンの西約250kmに位置する。地域の行政の中心地として政治的力点の置かれた町であり、商工業も盛んである。

今年の見本市は技術テーマ別に 27 の展示会場（ホール）に於いて、75 国から 6,274 企業（内、ドイツ外が約 60%）の展示が行われた。会期中の来場者数は約 215,000 人（内、ドイツ外が約 40%）と発表されている。

テーマ別ではロボティクス、AI（人工知能）、3D プリンター、5G 通信の領域が特に盛況であった。一方でバルブ、ホース、継手、歯車など加工部品の領域では、ほとんどを中国企業が占めるなど、領域別に住み分けが進んでいるように見受けられた。

なお、2020 年の国際見本市は 4 月 20 日から 24 日に開催される予定である。

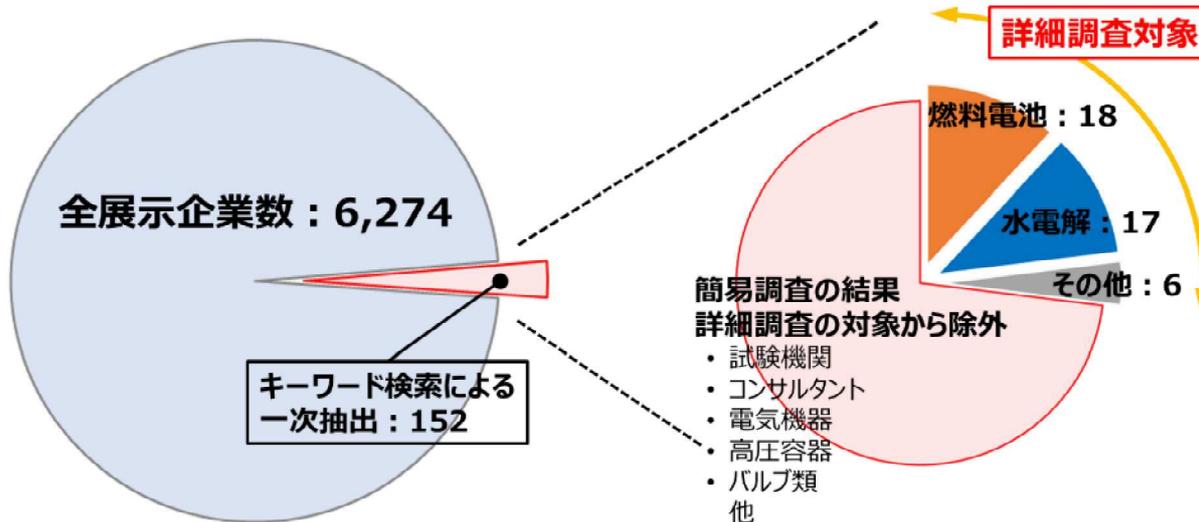


出典：Google map



出典：パンフレット

### 調査対象展示の選定



まず全展示件数 6,274 件（2019/2/28 現在の登録数）から、本事業の調査対象となる燃料電池技術ならびに水電解水素製造技術について、一次抽出を実施した。

次にハノーファーメッセのホームページ（<https://www.hannovermesse.de/home>）に掲載された各企業の事業内容から、“fuel cell(s)”、“electrolyser(s)”および“electrolyzer(s)”のキーワードで検索し、該当する 152 件を一次調査の対象とした。その後、この 152 件を現地で個別に、簡易的に調査し、本事業の調査対象考えられる 41 件を抽出し、これらについて詳細な調査を実施した。

詳細な調査を実施した展示・企業を以下に列記する。

【燃料電池関連】

カテゴリー	No.		企業名	国	展示ホール/スタンド	
CHP	1	F-1	HELBIO	Greece	27	E65
	2	F-2	inhouse	Germany	27	C46
	3	F-3	SenerTec	Germany	27	K42 (6)
スタック	4	F-4	Powercell	Sweden	27	C48
	5	F-5	Proton Motor Fuel Cells	Germany	27	D69
	6	F-6	elringklinger	Germany	27	D74
	7	F-7	AVL List	Austria	27	D56
スタック(小型可搬式 etc.)	8	F-8	Axane	France	27	B70 (15)
小型可搬式	9	F-9	SFC Energy	Germany	27	D45
	10	F-10	SUSY	Germany	27	D60 (2)
	11	F-11	Baltic Fuel Cells	Germany	27	D60 (2)
	12	F-12	Gaussin Manugistique	France	27	B70 (8)
	13	F-13	H2SYS	France	27	B70 (6)
	14	F-14	Fraunhofer (ISE)	Germany	27	C58
部品	15	F-15	Dana	USA	27	B69
	16	F-16	Fraunhofer (UMSICHT)	Germany	2	C22
改質	17	F-17	DBI	Germany	27	D45
その他	18	F-18	ZSW	Germany	27	H75

【水電解水素製造関連】

カテゴリー	No.		企業名	国	展示ホール/スタンド	
PEM electrolyser	19	H-1	AREVA H2Gen	France	27	C53
	20	H-2	Giner ELX	USA	27	C47
	21	H-3	Hoeller Electrolyzer	Germany	27	D72 (1)
	22	H-4	H-TEC SYSTEMS	Germany	27	B52
	23	H-5	iGas energy	Germany	27	B46
	24	H-6	ITM Power	UK	27	B68
	25	H-7	Siemens	Germany	9	D35
	26	H-8	QuinTech	Germany	27	C46
	27	H-9	Ataway	France	27	B70 (16)
	28	H-10	ERGOSUP	France	27	B70 (9)
PEM electrolyser	29	H-11	PERIC	China	27	E55
Alkaline electrolyser	30	H-12	NEL Hydrogen Electrolyser	Norway	27	B60
Alkaline electrolyser	31	H-13	ErreDue	Italy	27	C50
	32	H-14	HydrogenPro	Norway	27	E46
AEM electrolyser	33	H-15	Enapter	Germany	27	D57
SO electrolyser	34	H-16	sunfire	Germany	27	D46
BOP	35	H-17	Fronius Deutschland	Germany	27	B67

【その他】

カテゴリー	No.		企業名	国	展示ホール/スタンド	
その他	36	O-1	ANLEG	Germany	27	B67
	37	O-2	Energy Saxony	Germany	27	E45
	38	O-3	Framatome	Germany	27	D62 (1)
	39	O-4	Hugreen Power	Korea	27	E70
	40	O-5	Fraunhofer (IFAM)	Germany	27	E45
	41	O-6	HPS Home Power Solutions	Germany	27	C54

## 調査結果

### 【燃料電池関連】

#### F-1 : HELBIO

ガス改質器と PEMFC を組み合わせた家庭用 CHP を開発。改質ガスは精製することなく、混合ガスの状態で FC に供給されている。電気出力 5kW、熱出力 7kW。近々に韓国に設置を開始する計画とのこと。

ユニットのサイズは W750 x D650 x H1,650(mm)。

(図面を削除しました。)

<https://helbio.com/5-kw-combined-heat-and-power-system-chp/>



#### F-2 : inhouse

5kW の PEM 型 FC を用いた CHP を開発。改質タイプと純水素タイプをラインナップ。改質タイプの発電効率は 34%LHV, 総合効率 92%LHV。サイズは W740 x D1,550 x H1,159(mm)。1kW スタックの展示 (右写真) があつたが、詳細不明。



#### F-3 : SenerTec

元々はガスエンジン CHP を開発・販売している企業が新たに PEM 型 FC を利用した CHP に参入。実物の展示はなく、パネルのみ。電気出力 210W~950W、熱出力 250W~700W。耐久性は 80,000h@1,000 起動/停止を達成し得るとのこと。



出典: 会場のパンフレット

#### F-4 : Powercell

小型の FC モジュールとそれを利用した電源を開発。FC モジュールは 5kW~35kW で改質ガス（不純物含む水素）が利用可能もの（S2 シリーズ：写真右）と 30kW~125kW で純水素仕様のもの（S3 シリーズ：写真左）を展開。

S2 シリーズはレンジエクステンダー等を想定しているとのこと。一方、FCV のパワープラント用を想定した S3 シリーズは比体積（3.4kW/L）、比重量（2.9kW/kg）の面でかなりの高出力を達成している。耐久寿命は 20,000hr とのこと。BMW や VW が興味を持っている模様。

S3 モジュールを利用した電源（MS100）も展示されており、発電に必要な補器類が内蔵されているとのこと。



#### F-5 : Proton Motor Fuel Cells

小型 FC モジュールを開発。PM200 シリーズ（0.4kW~15.4kW）、PM400 シリーズ（2kw~75kW）、HyRange シリーズ（4.8kW~67.5kW）のラインナップ。HyRange シリーズはレンジエクステンダー用とのこと。他シリーズとの違いは低温対応、高緯度（低酸素）対応等の模様。耐久寿命は 20,000hr を謳っている。

HyRange シリーズを使ったレンジエクステンダーのミニバス（コンセプトモデル）が別ブースに展示されていた。



（図面を削除しました。）

<https://www.proton-motor.de/wp-content/uploads/PM200-Datenblatt-120718.pdf>

#### F-6 : elringklinger

Metallic bipolar plates を適用した 40kW スタックモジュールを開発。GIANTLEAP 社がスタック周辺機器をモジュール化。

#### F-7 : AVL List

SOFC を利用した家庭用 CHP (5kW) ならびにレンジエクステンダー用パワープラント (5kW~20kW) を開発。レンジエクステンダー用 SOFC (写真下左) は効率 45~50%、寿命 8,000h 程度とのこと。

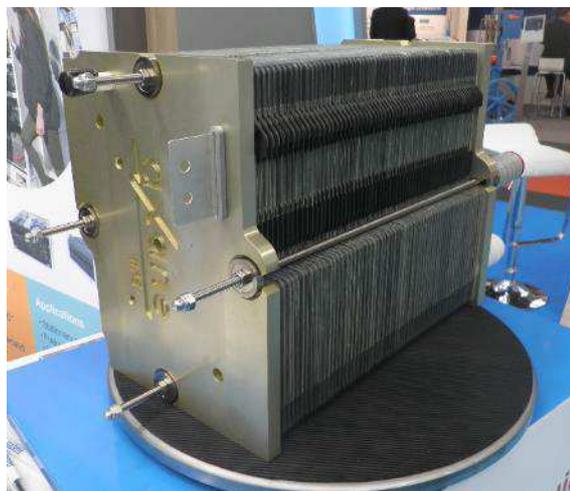
一方で、PEMFC を利用したパワープラント (70kW) も開発 (写真下右)。用途は乗用車、バス、電車など。低温起動 (-40℃) を達成している。



#### F-8 : Axane

PEM 型 FC を用いた 2kW の DC48V 電源 (写真下) および 14kW の FC モジュール (写真右) を開発。

14kW の FC モジュールの用途はフォークリフト等を想定。カソード側にエアポンプを持たず、低圧エアで動作が可能。耐久時間 20,000 を達成している。



出典：  
<https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/3.%20Eric%20Claude%20-%20ALAB-AXANE%20FCHJU%20Workshop%20Valencia%20Juin%202017.pdf>

#### F-9 : SFC Energy

ダイレクトメタノール改質型燃料電池を使用したバックアップ用電源。10 リットルのメタノールで 22kWh（使用状況にもよる）程度。出力バッファーとしてバッテリーを内蔵している。スタックのサイズは 1kW ~10kW の範囲で選択可能とのこと。



#### F-10 : SUSY

可搬式 450WDC 出力の PEM 型 FC モジュール。サイズは W255 x D215 x H190(mm)。

#### F-11 : Baltic Fuel Cells

可搬式 1kW 出力の PEM 型 FC モジュール。DC24V、DC48V、AC110-230V の 3 機種をラインナップ。

#### F-12 : Gaussin Manugistique

燃料電池とバッテリーを組み合わせたハイブリッド型パワーパックを開発。燃料電池 40kW とバッテリー40kW で計 80kW の出力。

#### F-13 : H2SYS

0.6kW、1kW、2kW、3kW の可搬型空冷 FC モジュール（写真下）および 5kW の空冷型 FC 電源を開発。用途は可搬型電源またはバックアップパワーを想定。5kw 型は水素貯蔵容器を内蔵。

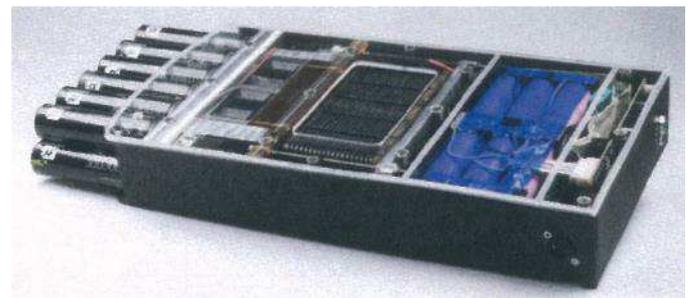
（図面を削除しました。）

（図面を削除しました。）

出典 : <https://www.h2sys.fr/en/boxhy-fuel-cell-generator-is-ready-for-hannover-messe/>  
<https://www.h2sys.fr/wp-content/uploads/2019/02/Aircell-fuel-cell-system.pdf>

#### F-14 : Fraunhofer-Institut (ISE)

水素吸蔵合金、燃料電池、Li イオンバッテリーを組み合わせた、超小型パワープラントシステムを試作。出力は 70W。まだ構想段階とのことで、アプリケーション例として電動アシスト自転車の駆動システム例を展示。



出典 : 会場のパンフレット

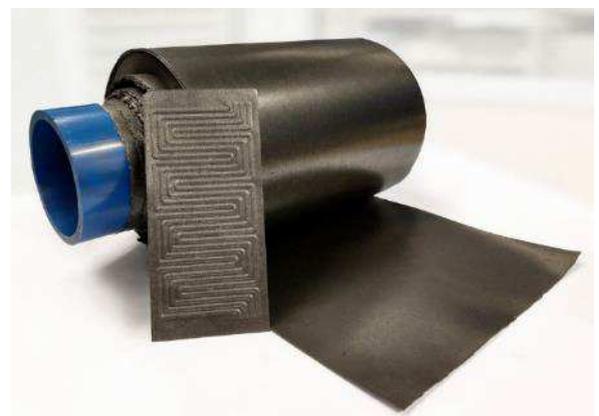
#### F-15 : Dana

金属製バイポーラプレート製作。自身でセル/スタックの製作は行っていない。



#### F-16 : Fraunhofer (UMSICHT)

バイポーラプレート用の導電性ポリマーを開発。ポリイミド樹脂とカーボン層のハイブリッド。約 90℃でプレス成型することで成形できる。樹脂なので MEA と積層して周囲を溶接すれば、シール材なしでスタックを構成でき、スタックの小型化と低コスト化が達成できる。また、材料自体のコストも安い。



F-17 : DBI

主に試験装置を想定した脱硫器 + 改質器を開発。

F-18 : ZSW

NPO の R&D 組織。試験用（膜や触媒の評価等）の小型 FC セルやスタックを製作。顧客の要請でスタックを製作しており、自らアプリケーション開発を行ってはいない。



### 【水電解水素製造関連】

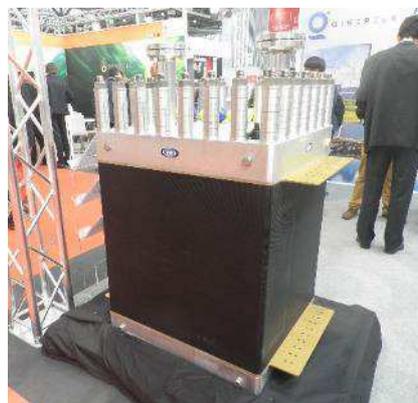
#### H-1 : AREVA H2Gen

小型から大型の PEM 型水電解スタックを開発。10Nm<sup>3</sup>/h～200Nm<sup>3</sup>/h の規模。



#### H-2 : Giner ELX

低コスト PEM 型水電解スタックの開発。大規模から小規模まで多様な水電解スタックを手掛けており、5kW～5MW の幅広いサイズを展開。展示は 1MW のもの。P2X を想定しているとのこと。



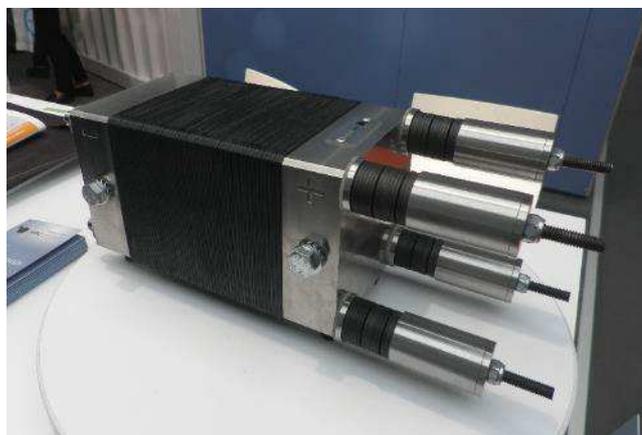
出典：会場のパンフレット  
参考：<https://www.ginerelx.com/electrolyzer-stacks>

#### H-3 : Hoeller Electrolyzer

PEM 型水電解スタックの開発。水素製造量別に、S (34kg/d : 75kW) 、M (147kg/d : 325kW) 、L (635kg/d : 1.4MW) のラインナップ。低コスト水素製造をターゲットにしており、目標は 4 ユーロ/kg・H<sub>2</sub> とのこと。

#### H-4 : H-TEC SYSTEMS

小型の PEM 水電解型スタックを開発。水素製造量 0.22Nm<sup>3</sup>/h～1.1Nm<sup>3</sup>/h (1kW～5kW) 。昇圧型スタックにより出口圧力 20bar。  
同社自身はスタックのみを販売している状況であり、アプリケーションを販売していない。従って、用途については各顧客によるが、詳細は把握できていない模様。



### H-5 : iGas energy

再生可能電力を用いた P2G を想定し、水素製造量 10Nm<sup>3</sup>/h~320Nm<sup>3</sup>/h の PEM 水電解型水素製造ユニットを開発。水素製造量に合わせて、複数のユニットを並列設置する構成。昇圧型スタックにより、出口圧力 40bar。

### H-6 : ITM Power

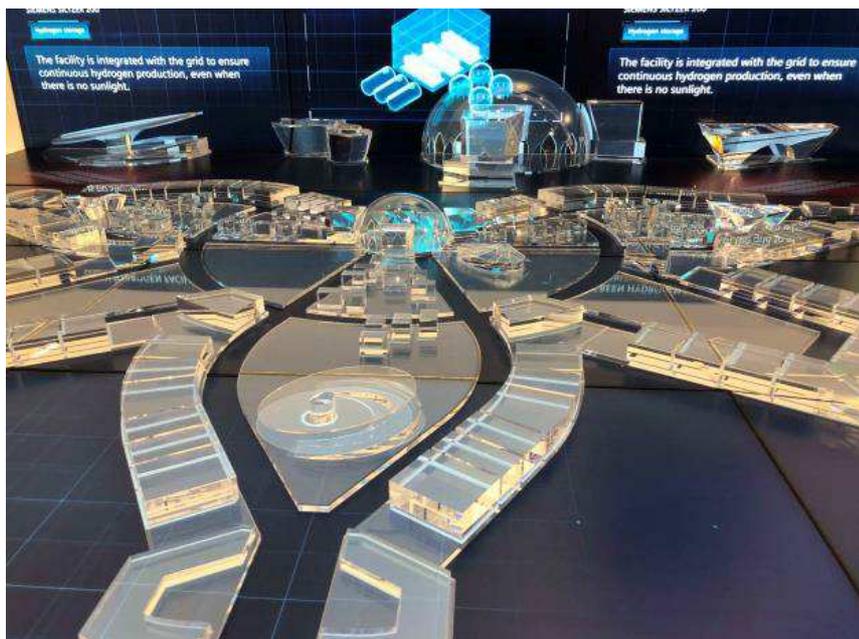
PEM 水電解型スタックを用いたモジュール（コンテナ）型の水素製造装置、水素ステーションを開発。昇圧型スタックにより出口圧力 20bar。P2G 用として 2MW（750kW x 3）スタックを展示。水素ステーションは 270kg/day の規模。



### H-7 : Siemens

再生可能電力を用いた P2G を想定した 750kW の PEM 水電解型スタックを展示。このスタックを 24 ユニット並列することで、18MW のシステムを構成する。製造した水素はパイプラインを活用することを想定している。

このシステムを応用した水素都市構想モデルを展示（2020Expo@ドバイ）。



H-8 : QuinTech

6 L/hr から 90 L/hr の PEM 型 electrolyser の開発ならびに、0.1kW-1.5kW の PEM 型 FC の開発。  
500W の空冷式 FC モジュールを展示していたが、用途については具体的なものはない模様。

H-9 : Atawey

PEM 水電解型スタックを用いたモジュール（コンテナ）型の水素ステーションを開発。水素製造量は 0.5kg/day～  
60kg/day 規模。

H-10 : ERGOSUP

PEM 水電解型スタックを用いた水素製造装置を開発。昇圧型スタックにより出口圧 100bar を達成。内部に Zn  
（亜鉛）を利用した電気化学的な水素貯蔵デバイスを持つ。（亜鉛と水素の化合物形成と分解の可逆反応を利用しているとのこと）

（図面を削除しました。）

出典：<https://www.ergosup.com/electrolyseur-sous-pression/>

H-11 : PERIC

アルカリ型と PEM 型両方の水電解スタックを開発。PEM 型は水素製造量 0.1Nm<sup>3</sup>/h～100Nm<sup>3</sup>/h、出口圧力  
40bar。

### H-12 : NEL Hydrogen Electrolyser

アルカリ型（写真左）ならびに PEM 型（写真右）水電解装置とそれを利用した水素ステーションの開発。アルカリ型は 150Nm<sup>3</sup>/h から 3,880Nm<sup>3</sup>/h、PEM 型水電解装置は 0.27Nm<sup>3</sup>/h~4,000Nm<sup>3</sup>/h まで幅広いラインナップ。PEM 型は昇圧型スタックにより出口圧力 13bar~30bar 程度。

（図面を削除しました。）

参考:

<https://nelhydrogen.com/product/m-series-3/>

<https://nelhydrogen.com/product/atmospheric-alkaline-electrolyser-a-series/>

### H-13 : ErreDue

小中型のアルカリ型水電解水素製造装置を開発。モジュールを連結することにより、0.66Nm<sup>3</sup>/h~170Nm<sup>3</sup>/h の規模から選択できる。昇圧型スタックにより出口圧力 30bar。



出典: 会場のパンフレット

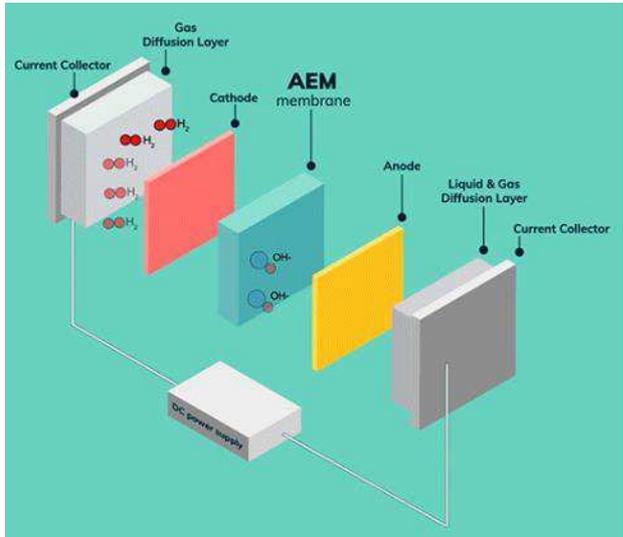
参考: [https://www.messe.de/apollo/hannover\\_messe\\_2020/obs/Binary/A1003925/1003925\\_02139862.pdf](https://www.messe.de/apollo/hannover_messe_2020/obs/Binary/A1003925/1003925_02139862.pdf)

### H-14 : HydrogenPro

高圧型（30bar）アルカリ水電解スタックの開発。大規模設備向け。

### H-15 : Enapter

AEM(anion exchange membrane)を使用した水電解スタックを開発。MEA 表面の触媒が不要となり低コスト、長寿命が期待できる。この水電解スタックを利用した水素製造装置を開発。複数の水素製造ユニットを組み合わせることで 0.5Nm<sup>3</sup>/h~20Nm<sup>3</sup>/h 程度の水素製造能力。また、水素製造ユニット、水分除去ユニット、水供給ユニットなど、種々のモジュールを君合わせる構成により、フレキシビリティのあるシステム構築が可能。

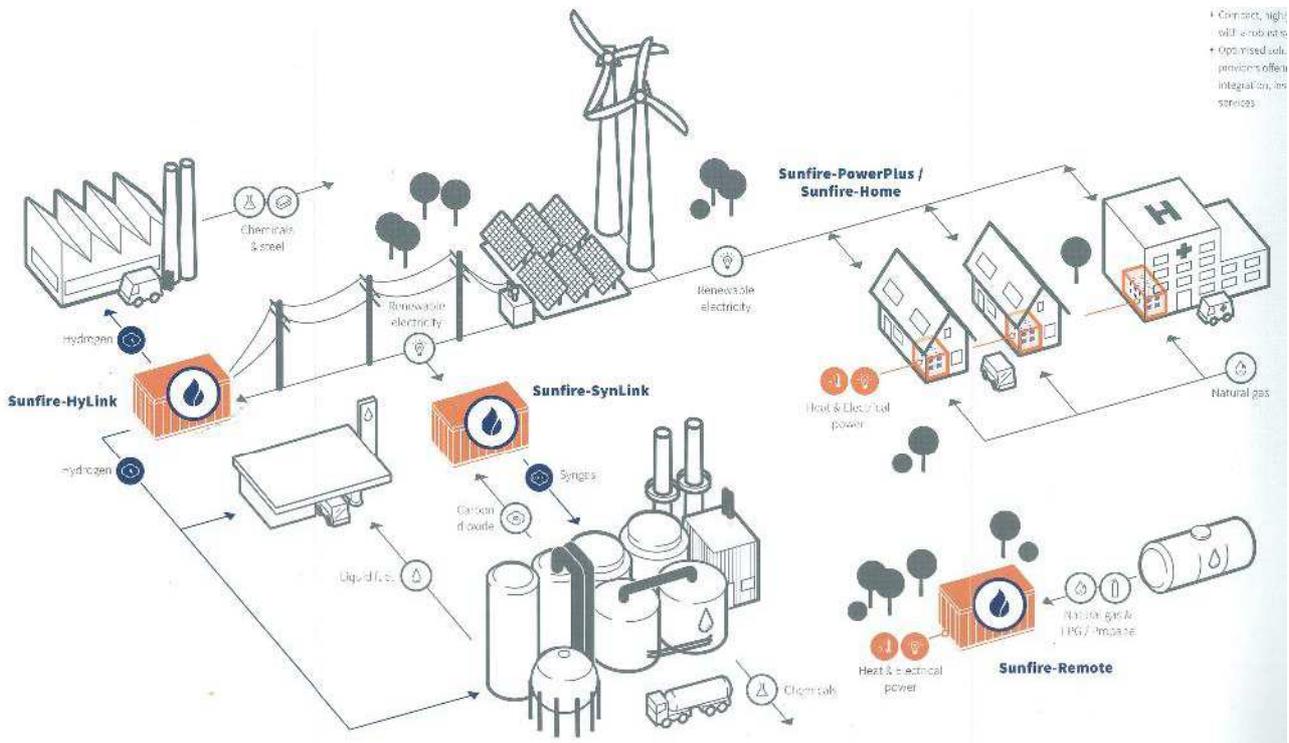


出典: 会場のパンフレット

参考: [https://www.renewable-ei.org/pdfdownload/activities/10\\_JensBischoff.pdf](https://www.renewable-ei.org/pdfdownload/activities/10_JensBischoff.pdf)

### H-16 : sunfire

SOFC ならびにガス改質技術を利用した水素、電力、熱供給の包括的なエネルギーネットワークを提案。ただし実物展示はなく、パネルおよびカタログによる説明のみ。家庭用 CHP は電気出力 750W (18kWh/day)。



出典: 会場のパンフレット

参考: <https://www.sunfire.de/en/applications>

H-17 : Fronius Deutschland

余剰の再生可能電力を利用して CHP 型の水素ステーションを開発。2018 年にオーストリアに 1 号機を設置。水素製造量ターゲットは 130kg/day の規模。

【その他】

O-1 : ANLEG

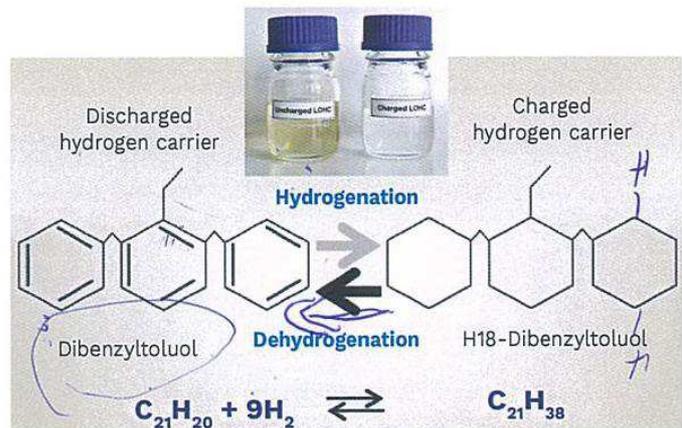
水素製造設備や水素ステーション等のエンジニアリング、建設事業。

O-2 : Energy Saxony

再生可能電力とアルカリ型水電解装置を組み合わせた水素製造装置の提案。エンジニアリングとコンサルティング業務が主であり、要素技術の開発を実施しているわけではない。

O-3 : Framatome

LOHC(Liquid organic hydrogen carrier) を内蔵した水素製造・供給システムの開発。芳香族化合物の水素脱着を利用することで 1 リットルの LOHC で 2kWh 相当分の水素貯蔵が可能。



Hydrogenation / dehydrogenation of dibenzyltoluol

出典: 会場のパンフレット

参考: <http://www.covalion.com/HOME/liblocal/docs/Produktblaetter/PS-G-003-ENG-201804-COV-LOHC%20Systems.pdf>

O-4 : Hugreen Power

固体水素化物を利用した水素発生（供給）装置。固体水素化物はカートリッジに収められており、交換式。水素発生量は 600 リットル～3000 リットル。FC ユニットと組み合わせて、ポータブル電源として使用することも可能。

## Hydrogen Generators



## Fuel Cartridges



出典: 会場のパンフレット

参考: <http://www.hugreenpower.com/products-2/hydrogen-generator/>

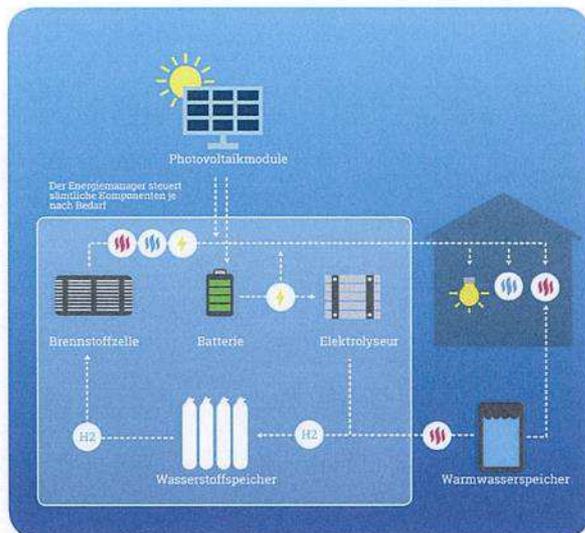
### O-5 : Fraunhofer (IFAM)

MgH<sub>2</sub> と燃料電池を組み合わせた小型の電力供給装置の開発。  
MgH<sub>2</sub> と水を反応させることで発生する水素を FC に供給して発電する。ポータブル用途としては 500ml ペットボトル程度の MgH<sub>2</sub> カートリッジで約 1.1kWh の電力供給が可能。定置型としてはドラム缶 1 本分の MgH<sub>2</sub> で約 380kWh の電力供給が可能。



### O-6 : HPS Home Power Solutions

太陽電池、燃料電池、PEM 型水電解スタックを組み合わせた家庭用 CHP を開発。電気出力は 1.5kW。水電解スタックを活用した P2G 機能も考えているとのこと。



出典: 会場のパンフレット\*

参考: <https://www.homepowersolutions.de/en/product#content>

## 調査結果のまとめ

調査の結果から、燃料電池スタックおよび水電解スタックのサイズにより、ターゲットとされる主な市場を下表のように整理した。

### 【燃料電池スタック】

サイズ	主な市場
1kW 前後	可搬型電源
約 5kW~約 25kW	CHP（家庭用、小型店舗用など）、定置型バックアップ電源（小型） ユーティリティービークル（フォークリフト、マテハントラックなど）、トラック車載電源
約 25kW~約 100kW	レンジエクステンダー、小型モビリティ、定置型バックアップ電源（中型）
約 100kW 以上	FCV、バス、電車、船舶、定置型バックアップ電源（大型）

燃料電池スタックについては、約 5kW 以上のものはターゲットとする市場がある程度明確化されており、それぞれの要求に応じた仕様で開発が進められている。特に 25kW から 100kW の領域では、従来からの定置型電源に加えて、レンジエクステンダーや小型モビリティへの応用が活発に提案されている印象を受けた。一方で、1kW 前後ものは可搬型電源としての応用が提案されているものの、その他のアプリケーションについては市場ニーズの探索中であると考えられる。このような 1kW 前後の小型アプリケーションの場合、小型化、軽量化、低コスト化、可搬性などの要求が中大型のものよりも高く、その結果、カソードエアーの低圧化（コンプレッサーレス）や高圧以外の水素貯蔵手段を内蔵する技術などが並行して進められている。

### 【水電解スタック】

サイズ	主な市場
5kW 前後	研究室用小型水素発生器
～ 約 750kW	水素ステーション、工業用途水素供給装置
約 750kW 以上	PtoP または PtoG

水電解スタックについては、数 10kW から約 750kW は FCV 用水素ステーションまたは工業用途の水素供給装置を主なターゲットとしている。この領域では複数のスタックを任意に連結することによって、ユーザーが要求に合ったフレキシブルな水素供給量となるよう、モジュールシステムの提案が多く見られた。約 750kW 以上のサイズは、ほぼ PtoP または PtoG の用途を想定している。Giner ELX は 5MW の超大型スタックを開発しているが、その他では概ね 1MW 前後が最大のサイズであり、それ以上の設備については複数のスタックを並列にすることで大規模設備を構成している。一方で、5kW（水素製造量：約 1kg/日）前後のスタックについては、各社ラインナップに揃えてはいるものの、明確なアプリケーションは定まっていないように見受けられる。

また各サイズとも、水素製造設備の出口にコンプレッサーを追加することなく、ある程度の圧力を得るために 30bar 程度の昇圧型スタックが一般的な仕様になっている。

新しい技術としては、Enapter がアニオン交換膜（AEM）を利用した水電解技術を展示していたが、この技術の課題である膜の耐久性や安定性、電解効率の改善にどの程度進化があるのかに関しては情報が得られなかった。

なお、水電解水素製造の場合、概ね再生可能エネルギーまたは未利用エネルギーの活用が前提として考えられている。

その他として、固体または液体の水素化物を利用した水素供給装置の展示が数社に見られた。これらは使い切りタイプのカートリッジなどを使用し、水電解水素製造のように持続的に水素を供給する必要がない用途に向けたものと思われる。例えば、これを内蔵した可搬型または定置型バックアップ電源が展示されていた。

以上

2019 年度 海外出張報告書

- HANNOVER MESSE 2019 -

作成：



1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	HANNOVER MESSE 2019 での情報収集
4. 出張者	本田技術研究所 東芝エネルギーシステムズ
5. 出張先	HANNOVER MESSE 2019 (ドイツ/ハノーバー)

6. 日程

2019 年 4 月 1 日 (月) 東京羽田発、MUNICH 経由 HANNOVER 着

2019 年 4 月 2 日(月)～5 日 (金) HANNOVER MESSE 2019

2019 年 4 月 6 日 (土) HANNOVER 発、ZURICH 経由 4 月 7 日 (日) 東京成田着

※坂田の旅程

7. 出張概要

7.1 背景と目的

NEDO 委託調査事業「燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査」において、欧州を中心とした世界各国の企業・団体の燃料電池開発の現状、開発方向性等について調査、情報収集することを目的とし、HANNOVER MESSE 2019 の調査を実施した。

## 7.2 HANNOVER MESSE 2019 の全体概要

ドイツ・ハノーバーで開催される世界最大の産業見本市。開催期間は 19/4/1～4/5 の 5 日間。

全体では、75 以上の国と地域から 6500 以上の企業、団体の展示があり、215,000 人以上が来場。全体展示スペースは約 200,000m<sup>2</sup>\*1。

テーマは“Integrated Industry - Industrial Intelligence”。

Industry 4.0、AI および 5G 通信を融合したファクトリーオートメーション関連の展示が多数あり、活況であった。また、3D プリンター技術や水素・燃料電池関連技術も注目を集めていた。

国別では、ドイツに続き、中国からの出展が 2 番目に多く、日本からは 82 の企業・団体が出展された。

\*1:ハノーバーメッセ発表情報

## 7.3 水素・燃料電池関連 調査対象と展示概要

水素・燃料電池関連は、20 か国、180 の企業、団体が展示しており、展示スペースは約 5000m<sup>2</sup>\*1。

\*1:ハノーバーメッセ発表情報

本WGの調査対象については、全展示企業から、事前キーワード検索により調査対象企業を一次抽出した上で、実際に展示ブースを確認し、燃料電池関連 17 件、水電解関連 19 件、その他 5 件を調査対象として抽出した。

### ① 燃料電池関連の概要

燃料電池関連 17 の展示分類内訳は、CHP が 3 件、スタックおよび小型可搬式バックアップ電源が 10 件、その他（BOP、部材、FPS など）が 4 件。

CHP メーカー 3 件の主な仕様は、いずれも燃料改質タイプで、発電出力は 5kW(2 件)および 700W(1 件)、発電効率は 34%(LHV)～38%(LHV)となっている。

スタック（およびスタック材料）メーカーは、FCV、Heavy duty 用途等の移動体向けへの搭載をメインターゲットとし、FCH2 JU が提示している目標仕様を意識した開発が進められている。また、本スタック技術をベースとし、定置用などへの応用を考えている様子。出力は 25～100kW。その他、スタックに BOP を一体モジュール設計する専用メーカーの展示もあった。

また、SFC ENERGY（ドイツ）は唯一 DMFC を展示。45W、110W、500W の DMFC バックアップ電源をラインナップしており、用途としては、電源無し地域に設置（例えば、風力発電設置前の数か月のデータ撮りなどに活用）すること。数か月間、人を介さずに放置することが困難とされるバッテリー代替としてのニーズがあり、41,000 ユニット以上を出荷しているとのこと。日本でも 50 台程度の出荷実績あり。

その他、純水素を燃料とした出力 1kW 前後の可搬式バックアップ電源の展示が複数あった。また、日本企業からは、TOYOTA 殿がミライ用スタックモジュールを、補機メーカーのテクノ高槻殿が燃料プロワを展示。

※各ブースの展示分類、概要等については、下表 1 および Hannover Messe 2019 調査概要参

照方。また、報告書2-1Aも併せて参照方。

## ② 水素製造関連の概要

小規模水電解～MW 級まで、幅広いレンジの水電解装置およびスタックが多数展示されており、PEM 水電解の展示が半数以上を占め、その他、アルカリ水電解 4 件、AEM 水電解 1 件および SO 水電解 1 件の展示があった。

Siemens は 750kW の PEM 水電解スタック、SILYZER 300 を展示。また、将来の水素社会到来を予感させる立体的映像ディスプレイがあり、2020 年ドバイ EXPO で水素供給する予定である（水素供給規模に関するアナウンスはなし）。

その他、ITM POWER は 2MW 級の PEM 水電解スタックおよび水素生成量 270kg/day 規模の水素製造システムを展示、Hoeller Electrolyzer は 3 ラインナップ（75kW、325kW および 1.4MW）の PEM 水電解スタックを展示するなど、多様な P2G 実証 PJ が実施されている欧州では、多数の企業が PR の場として活用している様子が窺えた。

日本企業からは、ASAHI KASEI 殿がアルカリ水電解のブースを出展（実物展示はなし）。

※各ブースの展示分類、概要等については、下表 2-1、2-2 および Hannover Messe 2019 調査概要参照方。また、報告書2-1Aも併せて参照方。

## 7.4 燃料電池関連の開発動向（仕様等）のまとめ

➤ スタック単体を展示している企業では、Light duty および Heavy duty などの移動体向けをメインターゲットとしたスタック開発を進められおり、本技術をプラットフォームとし、定置型等への応用を考えている様子。また、開発仕様としては、下記が主流（共通的な考え方）であった。

- ・FCV 用途は出力 100kW 以上、レンジエクステンダー用途は 25～100kW。
- ・高圧（1bar 以上）
- ・高温（>80℃）
- ・高出力密度化（コンパクト化）
- ・BOP モジュール化
- ・寿命（数千 h～2 万 h）
- ・（主に）金属セパレータ適用

その他、FCH2 JU が提示しているスタック目標仕様（当面の目標値は 2024 年のターゲット値）の達成を目的とした、企業、研究機関、大学一体のコンソーシアム型開発（INSPIRE）も行われている。

➤ システムメーカーの展示は 3 件と少なく、いずれの展示品も燃料改質タイプであった。

※純水素燃料に対応しているシステムメーカーもあったが、実機の展示はなし。

発電出力については、2 件の展示が 5kW であった（内 1 件は DC 出力仕様）。

μCHP としては高出力帯であり、業務用、基地局向けおよびマルチハウスへの展開を考慮した出力設定としている。

➤ その他、小出力（1kW 前後）の可搬式バックアップ電源システムが多数展示されていた。

表 1 燃料電池関連 (17)

Category		No.	Company	Country	Note		
Fuel cell	CHP	1	F-1	HELBIO	Greece	2001年に設立されたCHPシステムメーカー。FPS開発、メタネーション触媒開発まで幅広く手掛ける。5kWdc PEMFC を展示。燃料は、天然ガス、LPG、バイオガスを想定。近々に韓国に設置を開始する計画。	
		2	F-2	inhouse	Germany	CHP 5kW級PEMFCシステム。改質タイプと純水素タイプをラインナップ。改質タイプの発電効率は34%LHV、総合効率92%LHV。サイズはW740*D1550*H1159 1kWスタックの展示があったが、詳細不明。	
		3	F-3	SenerTec	Germany	欧州にて、DACHSブランドで、CHPシステムを展開。20kWCHP(ガスエンジン) 実物展示。その他、FC PEMFC CHP(700W)のパネルを展示。PEM型FCを利用したCHP。電気出力210W~950W、熱出力250W~700W。	
	スタック		4	F-4	Powercell Sweden	Sweden	PEMFCスタックメーカー。 S2(5~35kW相当、改質ガス、低圧仕様)スタック、S3(30~100kW相当、純水素、高圧仕様)、S3を搭載した100kW DCモジュールMS100を展示。MS100には、MAX 125kWDCのスタック(セル数455枚)を搭載。耐久性は説明員口頭情報では25,000hだが、実力は不明。エアコンプレッサーなどの必要BOP搭載(DC/DC、ラジエータは別設置)しているとのこと。VW、BMWに供給し、試験中。  S2シリーズはレンジエクステンダー等を想定しているとのこと。一方、FCVのパワープラント用を想定したS3シリーズは比体積、比重の面でかなりの高出力を達成している。
			5	F-5	Proton Motor Fuel Cells	Germany	PEMFCスタックメーカー。PM200シリーズ(0.4kW~15.4kW)、PM400シリーズ(2kW~75kW)、HyRangeシリーズ(4.8kW~67.5kW)のラインナップ。HyRangeシリーズはレンジエクステンダー用とのこと。他シリーズとの違いは低温対応、高緯度(低酸素) 対応等の模様。耐久性は>20,000hと表示。
			6	F-6	eiringklinger	Germany	Metallic bipolar platesを適用した40kWスタックモジュールを開発。GIANTLEAP社がスタック周辺機器をモジュール化。
			7	F-7	AVL List	Austria	スタック&周辺機器をアセンブリするOEMメーカー(販売&メンテナンス) SOFCを利用した家庭用CHP(5kW)ならびにレンジエクステンダー用パワープラント(5kW~20kW)を開発。レンジエクステンダー用SOFCは効率45~50%、寿命8,000h程度とのこと。一方で、PEMFCを利用したパワープラント(70kW)も開発。用途は乗用車、バス、電車など。低温起動(-40℃)を達成している。
			8	F-8	Axane	France	Air Liquideの子会社で、PEMFCスタックおよび可搬式バックアップFCシステムを製造、販売。スタック開発、制御装置開発も手掛ける。14kwのFCモジュールを開発。用途はフォークリフト等を想定。カソード側にエアポンプを持たず、低圧エアーで動作が可能。耐久時間20,000を達成している。
			9	F-9	SFC Energy	Germany	45W、110W、500WのDMFC バックアップ電源をラインナップ 41,000ユニット以上出荷。日本でも50台程度出荷。日本市場は豊田通商が販売。ダイレクトメタノール改質型燃料電池を使用したバックアップ用電源。10リットルのメタノールで22kWh(使用状況にもよる)程度。出力バッファとしてバッテリーを内蔵している。
			10	F-10	SUSY	Germany	可搬式450WDC出力のPEMFC。サイズはW255*D215*H190
	小型可搬式		11	F-11	Baltic Fuel Cells	Germany	可搬式1kW出力のPEMFC。24Vdc,48Vdc,110-230Vacの3機種をラインナップ
			12	F-12	Gaussin Manugistique	France	燃料電池をバッテリーを組み合わせたハイブリッド型パワーバックを開発。燃料電池40kWとバッテリー40kWで計80kWの出力。
			13	F-13	H2SYS	France	1kW、3kWおよび5kWの空冷型FCモジュールを開発。用途は可搬型電源またはバックアップパワーを想定。5kW型は水素貯蔵容器を内蔵。
			14	F-14	Dana	USA	スタック部品およびBOP開発。金属製バイポーラプレートの製作。セル/スタックの製作は行っていない。 ●Electrodes, electrode plates, bipolar plates for fuel cells ●Fuel cells for hydrogen technology ●Other components and equipment for fuel cell systems
			15	F-15	Fraunhofer (UMSICHT)	Germany	バイポーラプレート用の導電性ポリマーを開発。ポリミド樹脂とカーボン層のハイブリッド。約90℃でプレス成型することで成形できる。樹脂なのでMEAと構層して周囲を溶接すれば、シール材なしでスタックを構成でき、スタックの小型化が達成できる。また、材料自体のコストも安い。
	FPS関連	16	F-16	DBI	Germany	主に試験装置を想定した脱硫器+改質器を開発	
	その他	17	F-17	ZSW	Germany	NPOのR&D組織。試験用(膜や触媒の評価等)の小型FCセルやスタックを製作。顧客の要請でスタックを製作しており、自らアプリケーション開発を行っていない。	

表 2-1 水素製造関連 (19)

Category		No.		Company	Country	Note
水素製造	PEM electrolyser	18	H-1	AREVA H2Gen	France	The AREVA H2Gen PEM electrolyser is dedicated to industrial markets for hydrogen production ranges from 5 to 120 Nm <sup>3</sup> /h and up to multi MW capacities for renewable energy storage and mobility applications. 小中型のPEM型水電解スタックを開発。10Nm <sup>3</sup> /h～200Nm <sup>3</sup> /hの規模。
		19	H-2	Giner ELX	USA	小規模～大規模まで多様な水素製造装置を手掛ける。 低コストPEM型水電解スタックの開発。5kW～5MWの幅広いサイズを展開。展示は1MWのもの。P2Xを想定しているとのこと。 Giner ELX has sold PEM electrolyzer stacks and systems throughout the world. <b>Customers include Lockheed Martin, General Motors, NASA, Areva, Abengoa, Parker-Hannifin, Boeing, General Electric, and many others.</b> The company is especially proud to supply the US nuclear submarine fleet with electrolyzers for producing oxygen for the crew to breath. Giner ELX markets include energy storage, hydrogen refueling stations, industrial hydrogen, aerospace, life support, and on-site generation for laboratory instrumentation.
		20	H-3	Hoeller Electrolyzer	Germany	水電解PEMスタック開発。 PEM型水電解スタックの開発。水素製造量別に、S (34kg/d : 75kW) 、M (147kg/d : 325kW) 、L (635kg/d : 1.4MW) をラインナップ。低コスト水素製造をターゲットにしており、目標は4ユーロ/kg・H <sub>2</sub> 。
		21	H-4	H-TEC SYSTEMS	Germany	水素製造システム、小型のPEM電解スタック開発。 水素製造装置 ME100/350:13 - 66 Nm <sup>3</sup> /h, ME450/1400:25-210Nm <sup>3</sup> /h スタック S30/10, 30, 50 (0.31-1.57Nm <sup>3</sup> /h) 昇圧型スタックにより出口圧力20bar。
		22	H-5	iGas energy	Germany	風力発電と組み合わせた水素製造プラントを展開。ドイツ、インドに5基納入。 再生可能電力を用いたP2Gを想定し、水素製造量10Nm <sup>3</sup> /h～320Nm <sup>3</sup> /hのPEM水電解型水素製造ユニットを開発。水素製造量に合わせて、複数のユニットを並列設置する構成。昇圧型スタックにより、出口圧力40bar。
		23	H-6	ITM Power	UK	PEM電解水素発生システムおよびP2G用として2MWPEMスタックを展示。商品スペック：水素発生量45～40,000kg/24h、水素純度99.5～99.9999%、水素供給圧力20(50 optional)bar。 PEM水電解型スタックを用いたモジュール（コンテナ）型の水素製造装置、水素ステーションを開発。昇圧型スタックにより出口圧力20bar、P2G用として2MWスタックを展示。水素ステーション（展示品）は270kg/hの規模。
		24	H-7	Siemens	Germany	展示スペース1000m <sup>2</sup> 程度はあると推定されるブース中央に、PEM電解装置を設置（商品名：SILYZER 300）。 再生可能電力を用いたP2Gを想定した750kWのPEM水電解型スタック。 本スタックを24ユニット並列することで、18MWのシステムを構成する。製造した水素はパイプラインを活用することを想定している。2020 ドバイEXPOにて、モビリティ向け水素を供給する予定。
		25	H-8	Fraunhofer (ISE)	Germany	水素吸蔵合金、燃料電池、Liイオンバッテリーを組み合わせた、超小型パワープラントシステム。出力70W。また構想段階とのことで、アプリケーション例として自転車の駆動システムを展示。 Fraunhofer ISE has open a solar hydrogen filling station in Freiburg/Germany in which a PEM electrolyser produces hydrogen with the helps of photovoltaic moduls. With two daimler F-CELL fuel cell cars we demonstrate how a sustainable mobility can look like in the future. In general Fraunhofer ISE develops and designs stacks and systems for PEM water electrolysis for a broad range of applications.
		26	H-9	QuinTech	Germany	6 NI/h up to 90 NI/hのPEM electrolyser 開発 500Wの空冷式FCモジュールを開発。用途については具体的なものは無い模様。
		27	H-10	PERIC	China	アルカリ型とPEM型両方の水電解スタックを開発。PEM型は水素製造量0.1Nm <sup>3</sup> /h～100Nm <sup>3</sup> /h、出口圧力40bar。

表 2-2 水素製造関連 (19)

Category	No.	Company	Country	Note	
水素製造	PEM electrolyser Alkaline electrolyser	28 H-11	NEL Hydrogen Electrolyser	Norway	水電解装置とそれを利用した水素ステーションの開発。 大規模水素製造プラントを製造。多様なラインナップを備える AEM electrolyser Nel C-150: 150Nm <sup>3</sup> /h, Nel C-300: 300Nm <sup>3</sup> /h PEM electrolyser M Series: 100-400Nm <sup>3</sup> /h, H Series: 2-6Nm <sup>3</sup> /h, C Series: 10,20,30Nm <sup>3</sup> /h S Series: 0.53 or 1.05 Nm <sup>3</sup> /h 納入済みサイトの総合計水素量は30,000 Nm <sup>3</sup> /hとのこと。 その他、水素ステーション用の水素供給装置 (タンク、ディスペンサーなど) も手掛ける 昇圧型スタックにより出口圧力13bar~30bar程度。
	Alkaline electrolyser	29 H-12	ErreDue	Italy	小中型のアルカリ型水電解水素製造装置を開発。0.66Nm <sup>3</sup> /h~170Nm <sup>3</sup> /hの規模。昇圧型スタックにより出口圧力30bar。 商品名Mercury。多様なラインナップを備えており、GPM256の最大水素発生量は170m <sup>3</sup> /h。 <a href="https://www.erreduegas.it/download/brochure_mercury.pdf">https://www.erreduegas.it/download/brochure_mercury.pdf</a>
		30 H-13	HydrogenPro	Norway	高圧型 (30bar) アルカリ水電解スタックの開発。 "For large hydrogen plants, several electrolyzers can be connected together. Plants operate automatically and can be controlled remotely. Plants are designed to minimise maintenance and service needs. Plants with production capacity less than100 Nm <sup>3</sup> /h."
	AEM electrolyser	31 H-14	Enapter	Germany	AEM(anion exchange membrane)を使用した水電解スタックを開発。MEA表面の触媒が不要となり低コスト、長寿命となる。 この水電解スタックを利用した水素製造装置を開発。複数の水素製造ユニットを組み合わせることで0.5Nm <sup>3</sup> /h~20Nm <sup>3</sup> /h程度の水素製造能力。また、水素製造ユニット、水分除去ユニット、水供給ユニットなど、種々のモジュールを君合わせる構成により、フレキシビリティのあるシステム構築が可能。
	SO electrolyser	32 H-15	sunfire	Germany	SOC (solid oxide cells)採用。 実物展示なし。カタログのみ。 SUNFIRE-HYLINK HL40スベック水素発生量40Nm <sup>3</sup> /h, 効率82%。 SOFCを利用した家庭用CHPも手掛ける。電気出力750W (18kWh/day)。
	水素貯蔵、製造	33 H-16	ERGOSUP	France	PEM水電解型スタックを用いた水素製造装置を開発。昇圧型スタックにより出口圧100barを達成。内部にZn (亜鉛) を利用した電気化学的な水素貯蔵デバイスを持つ。(亜鉛と水素の化合物形成と分解の可逆反応を利用しているらしい) 水素発生量1,5 to 4 kg/week,10MPa, tank1.7m <sup>3</sup> , 水素純度99.95%, サイズ6,5 x 2,6 x 2 ft <sup>3</sup> (2 x 0,8 x 0,6 m <sup>3</sup> )
	小型水素発生器	34 H-17	Hugreen Power	Korea	固体水素化物を利用した水素発生 (供給) 装置。固体水素化物はカートリッジに収められており、交換式。 最大水素発生量 1L/min, 7L/min, 15L/min の3ラインナップを展示。FCとの組み合わせを想定したドロンFCを展示。
	水電解 電極材料	35 H-18	Fraunhofer (IFAM)	Germany	MgH <sub>2</sub> と燃料電池を組み合わせた小型の電力供給装置の開発。MgH <sub>2</sub> と水を反応させることで発生する水素をFCに供給して発電する。ポータブル用途としては500mlペットボトル程度のMgH <sub>2</sub> カートリッジで約1.1kWhの電力供給が可能。定置型としてはドラム缶1本分のMgH <sub>2</sub> で約380kWhの電力供給が可能。
	BOP	36 H-19	Fronius Deutschland	Germany	バルブ、安全弁などの水素関連BOP開発。また、余剰の再生可能電力を利用してCHP型の水素ステーションを開発。2018年にオーストリアに1号機を設置。水素製造量ターゲットは130kg/dayの規模。

表3 その他 (5)

Category	No.		Company	Country	Note
Other	37	O-1	ANLEG	Germany	水素製造設備や水素ステーション等のエンジニアリング、建設事業。 Anleg is a small engineering and manufacturing company. It was founded in 2001. The core business of Anleg is engineering and producing N2-Seal Gas Supply systems for Turbo Compressors. High Pressures Explosive environment, high security level (Atex Zones, Homologations and certification). It has also long time experience in handling H2 gases, in refineries and on oil platforms. Anleg has realized skids and compressor solutions up to 1500 bar. Anleg has designed a range of TPRd's which has been tested from different manufacturer and passed the bon fire tests mounted on different bottle sizes. Starting with 2 L 700 bar up to Anleg is also starting to bring on the market complete tank-systems from L 350 bar to 700 bar
	38	O-2	Atawey	France	PEM水電解型スタックを用いたモジュール（コンテナ）型の水素ステーションを開発。水素製造量は0.5kg/day~60kg/day規模。 "The ATAWEY product consists of a short term storage system (day) with batteries, and a long term storage system (year) with a hydrogen chain. This product has been designed to be installed outdoors, it is resistant to the most demanding weather conditions and to any act of vandalism."
	39	O-3	Energy Saxony	Germany	再生可能電力とアルカリ型水電解装置を組み合わせた水素製造装置の提案。エンジニアリングとコンサルティング業務が主であり、要素技術の開発を実施しているわけではない。 The association Energy Saxony e.V. is an economy driven network that aims to improve the competitiveness of Saxon companies in the energy sector. Our bundled expertise includes high-temperature fuel cells and their components, innovative technologies for the use of regenerative gaseous fuels, automation solutions, fuel cell power plants, materials and systems for the generation and storage of hydrogen, and simulations tools for fuel cell stacks and system components.
	40	O-4	Framatome	Germany	LOHC(Liquid organic hydrogen carrier)を内蔵した水素製造・供給システムの開発。芳香族化合物の水素脱着を利用することで1リットルのLOHCで2kWh相当分の水素貯蔵が可能。 system integrator for hydrogen and battery storage solutions, implements projects, supplies components and provides services
	41	O-5	HPS Home Power Solutions	Germany	太陽電池、燃料電池、PEM型水電解スタックを組み合わせた家庭用CHPを開発。電気出力は1.5kW。P2G機能も考えているとのこと。

以上

# ハノーバーメッセ2019 調査概要

# ハノーバーメッセ2019調査

## NEDO「固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発事業／燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査」

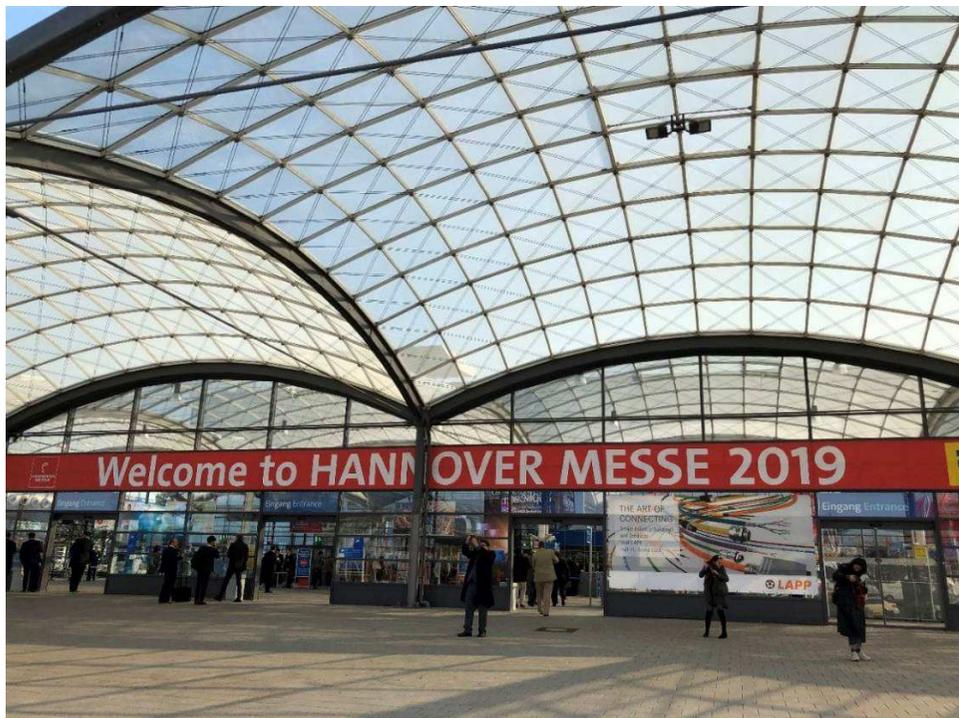
4/1～5開催の“ハノーバーメッセ2019”に出展されている水素・燃料電池関連技術の調査を実施。

全体では、75以上の国と地域から6,500以上の企業、団体の展示があり、215,000人以上が来場。展示スペースは200,000m<sup>2</sup>。テーマは“Integrated Industry - Industrial Intelligence”。

Industry 4.0とAIを融合させ、5G通信を活用したファクトリーオートメーションが注目を集めている。

**水素・燃料電池関連の注目度も高く、水素・燃料電池関連ブースには、20か国、180の企業、団体が展示。**

**展示スペースは5,000m<sup>2</sup>**



# ハノーバー

ハノーバー（ハノーファー）は、[ライン川](#)沿いにある北ドイツの主要都市のひとつ。[ニーダーザクセン州](#)の州都

[ライン川](#)沿いに位置し、ミッテルランド運河が市内を走る交通の要所で、鉄道も東西を結ぶ路線と南北を結ぶ路線が交錯する。商工業が発達している。近隣の都市としては、約90キロ西に[ビーレフェルト](#)、50キロ東に[ブラウンシュバイク](#)、70キロ東に[ヴォルフスブルク](#)、約30キロ南に[ヒルデスハイム](#)が位置する。

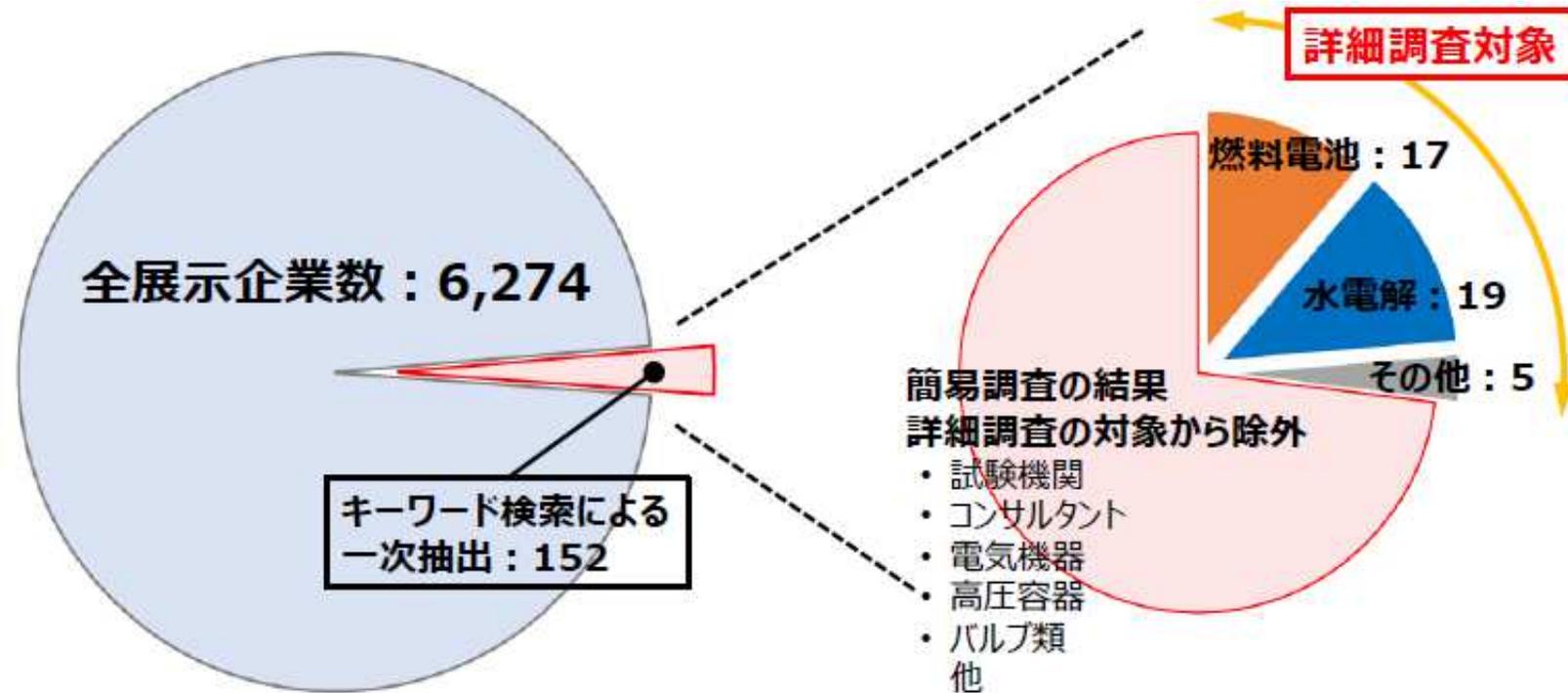
人口515,948人（[2004年](#)）。地域の行政の中心地としても政治的力点の置かれた町

※Wikipediaより



出典: wikipedia  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%8F%E3%83%8E%E3%83%BC%E3%83%95%E3%82%A1%E3%83%BC#/map/0>

# 調査対象について



1. 全展示企業から“fuel cell(s)”、“electrolyser(s)”、“electrolyzer(s)”のキーワード検索を実施し、調査対象となり得る企業を一次抽出
2. 一次抽出された企業を個別に簡易的に調査し、本WGの調査対象としての可否を判断
3. 調査要の対象となった企業に対して、詳細な調査を実施

## 調査対象&展示概要 (燃料電池関連17)

Category		No.		Company	Country	Note
Fuel cell	CHP	1	F-1	HELBIO	Greece	2001年に設立されたCHPシステムメーカー。FPS開発、メタネーション触媒開発まで手広く手掛ける。5kWdc PEMFC を展示。燃料は、天然ガス、LPG、バイオガスを想定。近々に韓国に設置を開始する計画。
		2	F-2	inhouse	Germany	CHP 5kW級PEMFCシステム。改質タイプと純水素タイプをラインナップ。改質タイプの発電効率は34%LHV, 総合効率92%LHV。サイズはW740*D1550*H1159 1kWスタックの展示があったが、詳細不明。
		3	F-3	SenerTec	Germany	欧州にて、DACHSブランドで、CHPシステムを展開。20kWCHP(ガスエンジン) 実物展示。その他、FC PEMFC CHP(700W)のパネルを展示。PEM型FCを利用したCHP。電気出力210W~950W、熱出力250W~700W。

## 調査対象&展示概要 (燃料電池関連17)

Category		No.		Company	Country	Note
Fuel cell	スタック	4	F-4	Powercell Sweden	Sweden	PEMFCスタックメーカー。S2(5~35kW相当,改質ガス,低圧仕様)スタック、S3(30~100kW相当,純水素,高圧仕様), S3を搭載した100kW DCモジュールMS100を展示。MS100には、MAX 125kWDCのスタック(セル数455枚)を搭載。耐久性は説明員口頭情報では25,000hだが、実力は不明。エアコンプレッサーなどの必要BOP搭載(DC/DC, ラジエータは別設置)しているとのこと。VW、BMWに供給し、試験中。  S2シリーズはレンジエクステンダー等を想定しているとのこと。一方、FCVのパワープラント用を想定したS3シリーズは比体積、比重量の面でかなりの高出力を達成している。
		5	F-5	Proton Motor Fuel Cells	Germany	PEMFCスタックメーカー。PM200シリーズ(0.4kW~15.4kW)、PM400シリーズ(2kW~75kW)、HyRangeシリーズ(4.8kW~67.5kW)のラインナップ。HyRangeシリーズはレンジエクステンダー用とのこと。他シリーズとの違いは低温対応、高緯度(低酸素)対応等の模様。耐久性は> 20,000hと表示。
		6	F-6	elringklinger	Germany	Metallic bipolar platesを適用した40kWスタックモジュールを開発。GIANTLEAP社がスタック周辺機器をモジュール化。

## 調査対象&展示概要 (燃料電池関連17)

Category		No.		Company	Country	Note	
Fuel cell	スタック	7	F-7	AVL List	Austria	スタック&周辺機器をアセンブリングするOEMメーカー（販売&メンテナンス） SOFCを利用した家庭用CHP（5kW）ならびにレンジエクステンダー用パワープラント（5kW～20kW）を開発。レンジエクステンダー用SOFCは効率45～50%、寿命8,000h程度とのこと。一方で、PEMFCを利用したパワープラント（70kW）も開発。用途は乗用車、バス、電車など。低温起動（-40℃）を達成している。	
	スタック(小型可搬式 etc.)	8	F-8	Axane	France	Air Liquideの子会社で、PEMFCスタックおよび可搬式バックアップFCシステムを製造、販売。スタック開発、制御装置開発も手掛ける。 14kwのFCモジュールを開発。用途はフォークリフト等を想定。カソード側にエアポンプを持たず、低圧エアで動作が可能。耐久時間20,000を達成している。	
	小型可搬式		9	F-9	SFC Energy	Germany	45W、110W、500WのDMFC バックアップ電源をラインナップ 41,000ユニット以上出荷。 日本でも50台程度出荷。日本市場は豊田通商が販売。 ダイレクトメタノール改質型燃料電池を使用したバックアップ用電源。10リットルのメタノールで22kWh（使用状況にもよる）程度。出力バッファとしてバッテリーを内蔵している。
			10	F-10	SUSY	Germany	可搬式450WDC出力のPEMFC。サイズはW255*D215*H190
			11	F-11	Baltic Fuel Cells	Germany	可搬式1kW出力のPEMFC。24Vdc,48Vdc,110-230Vacの3機種をラインナップ
			12	F-12	Gaussin Manugistique	France	燃料電池をバッテリーを組み合わせたハイブリッド型パワーパックを開発。燃料電池40kWとバッテリー40kWで計80kWの出力。
			13	F-13	H2SYS	France	1kW、3kWおよび5kWの空冷型FCモジュールを開発。用途は可搬型電源またはバックアップパワーを想定。5kw型は水素貯蔵容器を内蔵。

## 調査対象&展示概要（燃料電池関連17）

Category		No.		Company	Country	Note
Fuel cell	部品	14	F-14	Dana	USA	スタック部品およびBOP開発。 金属製バイポーラプレートの製作。セル/スタックの製作は行っていない。 •Electrodes, electrode plates, bipolar plates for fuel cells •Fuel cells for hydrogen technology •Other components and equipment for fuel cell systems
		15	F-15	Fraunhofer (UMSICHT)	Germany	バイポーラプレート用の導電性ポリマーを開発。ポリイミド樹脂とカーボン層のハイブリッド。約90℃でプレス成型することで成形できる。樹脂なのでMEAと積層して周囲を溶接すれば、シール材なしでスタックを構成でき、スタックの小型化が達成できる。また、材料自体のコストも安い。
	FPS	16	F-16	DBI	Germany	主に試験装置を想定した脱硫器+改質器を開発
	その他	17	F-17	ZSW	Germany	NPOのR&D組織。試験用（膜や触媒の評価等）の小型FCセルやスタックを製作。顧客の要請でスタックを製作しており、自らアプリケーション開発を行ってはいない。

※上表以外に、日本企業（トヨタ殿のミライスタック、補機メーカーテクノ高槻殿の燃料ブロワ）の展示あり

## 調査対象&展示概要（水素製造関連19）

Category		No.		Company	Country	Note
水素製造	PEM electrolyser	18	H-1	AREVA H2Gen	France	The AREVA H2Gen PEM electrolyser is dedicated to industrial markets for hydrogen production ranges from 5 to 120 Nm <sup>3</sup> /h and up to multi MW capacities for renewable energy storage and mobility applications. 小中型のPEM型水電解スタックを開発。10Nm <sup>3</sup> /h～200Nm <sup>3</sup> /hの規模。
水素製造	PEM electrolyser	19	H-2	Giner ELX	USA	小規模～大規模まで多様な水素製造装置を手掛ける。 低コストPEM型水電解スタックの開発。5kW～5MWの幅広いサイズを展開。展示は1MWのもの。P2Xを想定しているとのこと。 Giner ELX has sold PEM electrolyzer stacks and systems throughout the world. Customers include Lockheed Martin, General Motors, NASA, Areva, Abengoa, Parker-Hannifin, Boeing, General Electric, and many others. The company is especially proud to supply the US nuclear submarine fleet with electrolyzers for producing oxygen for the crew to breath. Giner ELX markets include energy storage, hydrogen refueling stations, industrial hydrogen, aerospace, life support, and on-site generation for laboratory instrumentation.
		20	H-3	Hoeller Electrolyzer	Germany	水電解PEMスタック開発。 PEM型水電解スタックの開発。水素製造量別に、S（34kg/d：75kW）、M（147kg/d：325kW）、L（635kg/d：1.4MW）のラインナップ。低コスト水素製造をターゲットにしており、目標は4ユーロ/kg・H <sub>2</sub> 。
		21	H-4	H-TEC SYSTEMS	Germany	水素製造システム、小型のPEM電解スタック開発。 水素製造装置 ME100/350:13 - 66 Nm <sup>3</sup> /h, ME450/1400:25-210Nm <sup>3</sup> /h スタック S30/10, 30, 50 (0.31-1.57Nm <sup>3</sup> /h) 昇圧型スタックにより出口圧力20bar。

## 調査対象&展示概要（水素製造関連19）

Category		No.		Company	Country	Note
水素製造	PEM electrolyser	22	H-5	iGas energy	Germany	風力発電と組み合わせた水素製造プラントを展開。ドイツ、インドに5基納入。 再生可能電力を用いたP2Gを想定し、水素製造量10Nm <sup>3</sup> /h~320Nm <sup>3</sup> /hのPEM水電解型水素製造ユニットを開発。水素製造量に合わせて、複数のユニットを並列設置する構成。昇圧型スタックにより、出口圧力40bar。
		23	H-6	ITM Power	UK	PEM電解水素発生システムおよびP2G用として2MWPEMスタックを展示。商品スペック：水素発生量45~40,000kg/24h, 水素純度99.5~99.999%, 水素供給圧力20(50 optional)bar。 PEM水電解型スタックを用いたモジュール（コンテナ）型の水素製造装置、水素ステーションを開発。昇圧型スタックにより出口圧力20bar。P2G用として2MWスタックを展示。水素ステーション（展示品）は270kg/hの規模。
		24	H-7	Siemens	Germany	展示スペース1000m <sup>2</sup> 程度はがあると推定されるブース中央に、PEM電解装置を設置（商品名：SILYZER 300）。 再生可能電力を用いたP2Gを想定した750kWのPEM水電解型スタック。 本スタックを24ユニット並列することで、18MWのシステムを構成する。製造した水素はパイプラインを活用することを想定している。2020 ドバイEXPOにて、モビリティ向け水素を供給する予定。

## 調査対象&展示概要（水素製造関連19）

Category		No.		Company	Country	Note
水素製造	PEM electrolyser	25	H-8	Fraunhofer (ISE)	Germany	水素吸蔵合金、燃料電池、Liイオンバッテリーを組み合わせた、超小型パワープラントシステム。出力70W。まだ構想段階とのことで、アプリケーション例として自転車の駆動システムを展示。 Fraunhofer ISE has open a solar hydrogen filling station in Freiburg/Germany in which a PEM electrolyser produces hydrogen with the helps of photovoltaic moduls. With two daimler F-CELL fuel cell cars we demonstrate how a sustainable mobility can look like in the future. In general Fraunhofer ISE develops and designs stacks and systems for PEM water electrolysis for a broad range of applications.
	PEM electrolyser (& PEMFC)	26	H-9	QuinTech	Germany	6 NI/h up to 90 NI/hのPEM electrolyser 開発 500Wの空冷式FCモジュールを開発。用途については具体的なものは無い模様。
	PEM electrolyser Alkaline electrolyser	27	H-10	PERIC	China	アルカリ型とPEM型両方の水電解スタックを開発。PEM型は水素製造量 0.1Nm <sup>3</sup> /h~100Nm <sup>3</sup> /h、出口圧力40bar。

## 調査対象&展示概要（水素製造関連19）

Category		No.		Company	Country	Note
水素製造	PEM electrolyser Alkaline electrolyser	28	H-11	NEL Hydrogen Electrolyser	Norway	水電解装置とそれを利用した水素ステーションの開発。 大規模水素製造プラントを製造。多様なラインナップを備える AEM electrolyser Nel C-150: 150Nm <sup>3</sup> /h, Nel C-300: 300Nm <sup>3</sup> /h PEM electrolyser M Series: 100-400Nm <sup>3</sup> /h , H Series: 2-6Nm <sup>3</sup> /h, C Series: 10,20,30Nm <sup>3</sup> /h S Series: 0.53 or 1.05 Nm <sup>3</sup> /h 納入済みサイトの総合計水素量は30,000 Nm <sup>3</sup> /hとのこと。 その他、水素ステーション用の水素供給装置（タンク、ディスペンサーなど）も手掛ける 昇圧型スタックにより出口圧力13bar~30bar程度。
	Alkaline electrolyser	29	H-12	ErreDue	Italy	小中型のアルカリ型水電解水素製造装置を開発。0.66Nm <sup>3</sup> /h~170Nm <sup>3</sup> /hの規模。昇圧型スタックにより出口圧力30bar。 商品名Mercury。多様なラインナップを備えており、GPM256の最大水素発生量は170m <sup>3</sup> /h。 <a href="https://www.erreduegas.it/download/brochure_mercury.pdf">https://www.erreduegas.it/download/brochure_mercury.pdf</a>
		30	H-13	HydrogenPro	Norway	高圧型（30bar）アルカリ水電解スタックの開発。 "For large hydrogen plants, several electrolyzers can be connected together. Plants operate automatically and can be controlled remotely. Plants are designed to minimise maintenance and service needs. plants with production capacity less than100 Nm <sup>3</sup> /h."

## 調査対象&展示概要（水素製造関連19）

Category		No.		Company	Country	Note
水素製造	AEM electrolyser	31	H-14	Enapter	Germany	AEM(anion exchange membrane)を使用した水電解スタックを開発。MEA表面の触媒が不要となり低コスト、長寿命となる。 この水電解スタックを利用した水素製造装置を開発。複数の水素製造ユニットを組み合わせることで0.5Nm <sup>3</sup> /h~20Nm <sup>3</sup> /h程度の水素製造能力。また、水素製造ユニット、水分除去ユニット、水供給ユニットなど、種々のモジュールを君合わせる構成により、フレキシビリティのあるシステム構築が可能。
	SO electrolyser	32	H-15	sunfire	Germany	SOC (solid oxide cells)採用。実物展示なし。カタログのみ。 SUNFIRE-HYLINK HL40スベック水素発生量40Nm <sup>3</sup> /h, 効率82%。 SOFCを利用した家庭用CHPも手掛ける。電気出力750W（18kWh/day）。
	水素貯蔵、製造	33	H-16	ERGOSUP	France	PEM水電解型スタックを用いた水素製造装置を開発。昇圧型スタックにより出口圧100barを達成。内部にZn（亜鉛）を利用した電気化学的な水素貯蔵デバイスを持つ。（亜鉛と水素の化合物形成と分解の可逆反応を利用しているらしい） 水素発生量1,5 to 4 kg/week,10MPa, tank1.7m <sup>3</sup> , 水素純度99.95%, サイズ6,5 x 2,6 x 2 ft <sup>3</sup> (2 x 0,8 x 0,6 m <sup>3</sup> )

## 調査対象&展示概要（水素製造関連19）

Category		No.		Company	Country	Note
水素製造	小型水素発生器	34	H-17	Hugreen Power	Korea	固体水素化物を利用した水素発生（供給）装置。固体水素化物はカートリッジに収められており、交換式。 最大水素発生量 1L/min, 7L/min, 15L/min の3ラインナップを展示。FCとの組み合わせを想定したドロンFCを展示。
	水電解 電極材料	35	H-18	Fraunhofer (IFAM)	Germany	MgH <sub>2</sub> と燃料電池を組み合わせた小型の電力供給装置の開発。MgH <sub>2</sub> と水を反応させることで発生する水素をFCに供給して発電する。ポータブル用途としては500mlペットボトル程度のMgH <sub>2</sub> カートリッジで約1.1kWhの電力供給が可能。定置型としてはドラム缶1本分のMgH <sub>2</sub> で約380kWhの電力供給が可能。
	BOP	36	H-19	Fronius Deutschland	Germany	バルブ、安全弁などの水素関連BOP開発。また、余剰の再生可能電力を利用してCHP型の水素ステーションを開発。2018年にオーストリアに1号機を設置。水素製造量ターゲットは130kg/dayの規模。

※上表以外に、日本企業、ASAHI KASEI 殿 アルカリ水電解 ブースあり（実物展示はなし）

## 調査対象&展示概要（その他5）

Category	No.		Company	Country	Note
Other	37	O-1	ANLEG	Germany	<p>水素製造設備や水素ステーション等のエンジニアリング、建設事業。            Anleg is a small engineering and manufacturing company. It was founded in 2001. The core business of Anleg is engineering and producing N2-Seal Gas Supply systems for Turbo Compressors. High Pressures Explosive environment, high security level (Atex Zones, Homologations and certification). It has also long time experience in handling H2 gases, in refineries and on oil platforms. Anleg has realized skids and compressor solutions up to 1500 bar. Anleg has designed a range of TPRd's which has been tested from different manufacturer and passed the bon fire tests mounted on different bottle sizes. Starting with 2 L 700 bar up to Anleg is also starting to bring on the market complete tank-systems from L 350 bar to 700 bar</p>
	38	O-2	Ataway	France	<p>PEM水電解型スタックを用いたモジュール（コンテナ）型の水素ステーションを開発。水素製造量は0.5kg/day～60kg/day規模。            "The ATAWAY product consists of a short term storage system (day) with batteries, and a long term storage system (year) with a hydrogen chain. This product has been designed to be installed outdoors, it is resistant to the most demanding weather conditions and to any act of vandalism."</p>

## 調査対象&展示概要（その他5）

Category	No.		Company	Country	Note
Other	39	O-3	Energy Saxony	Germany	再生可能電力とアルカリ型水電解装置を組み合わせた水素製造装置の提案。エンジニアリングとコンサルティング業務が主であり、要素技術の開発を実施しているわけではない。 The association Energy Saxony e.V. is an economy driven network that aims to improve the competitiveness of Saxon companies in the energy sector. Our bundled expertise includes high-temperature fuel cells and their components, innovative technologies for the use of regenerative gaseous fuels, automation solutions, fuel cell power plants, materials and systems for the generation and storage of hydrogen, and simulations tools for fuel cell stacks and system components.
	40	O-4	Framatome	Germany	LOHC(Liquid organic hydrogen carrier)を内蔵した水素製造・供給システムの開発。芳香族化合物の水素脱着を利用することで1リットルのLOHCで2kWh相当分の水素貯蔵が可能。 system integrator for hydrogen and battery storage solutions, implements projects, supplies components and provides services
	41	O-5	HPS Home Power Solutions	Germany	太陽電池、燃料電池、PEM型水電解スタックを組み合わせた家庭用CHPを開発。電気出力は1.5kW。P2G機能も考えているとのこと。

# 燃料電池関連

# CHP (PEMFC, 5kWdc) Helbio (ギリシャ)

出典: 会場のパンフレット



Prometheus-5 project is co-funded by European Commission under the SME instrument-phase 2 call of [Horizon 2020](https://www.horizon.eu/)

Primary objective of Prometheus-5 project is the industrialization of a highly innovative, energy efficient and environmentally friendly power production unit for decentralized power generation (H<sub>2</sub>PS-5).

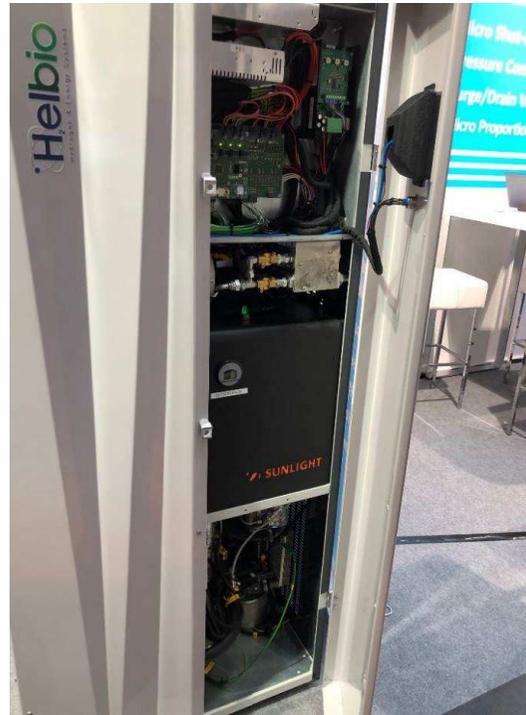
家庭用として5kWは大きい、他の用途（基地局、ボート等）との共通化を狙い、5kWを選定とのこと。  
韓国VASTEKに供給予定。

<http://www.prometheus5.com/project>

<http://www.prometheus5.com/#markets>

<http://www.prometheus5.com/description-of-prometheus-5>

# CHP (PEMFC, 5kWdc) Helbio (ギリシャ)



**TECHNOLOGY**

Helbio's technology is based on proprietary and patented reactor catalyst configurations for reformation processes. The reactor configurations utilize the concept of the Heat Integrated Wall Reactor which offers very rapid heat exchange characteristics.

HPS-5 uses a PEM Fuel Cell coupled with a fuel processor based on the fed fuel streams reforming. The system comprises a **fuel processing** and a **power generation step**.

**Primary the fuel processing step:**  
Reformate hydrogen is produced through the following reactions:  
 Steam Reforming:  $\text{C}_m\text{H}_n + \text{H}_2\text{O} = n\text{CO} + (n+m/2)\text{H}_2$   
 Water Gas Shift (HT and LT WGS):  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$   
 Methanation:  $\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$

**Secondly the power generation step:**  
A low temperature Proton Exchange Membrane (PEM) fuel cell is used.

**HIWAR Patented Technology**

**SYSTEM CHARACTERISTICS**

TECHNOLOGY	
Reformer	Steam Reforming
Water Gas Shift	High and Low temperature
CO minimization	Selective CO methanation
Hydrogen quality	Reformate
SPECIFICATIONS	
Feeding Fuel	Natural Gas, LPG/Propane, Biogas
Energy Production	5 kWe + 7 kWth
Max Electrical Efficiency	> 35% (based on LHV)
Max Thermal Efficiency	> 50% (based on LHV)
Power Characteristics	48 VDC*
Operating Range Capacity	40-100%
Dimensions (LxWxH)	0.65 m x 0.75 m x 1.65 m
Weight	~ 200 Kg

\*Other voltages available upon request

発電効率35%(LHV),排熱回収効率50%(LHV)

出典:会場のパンフレット

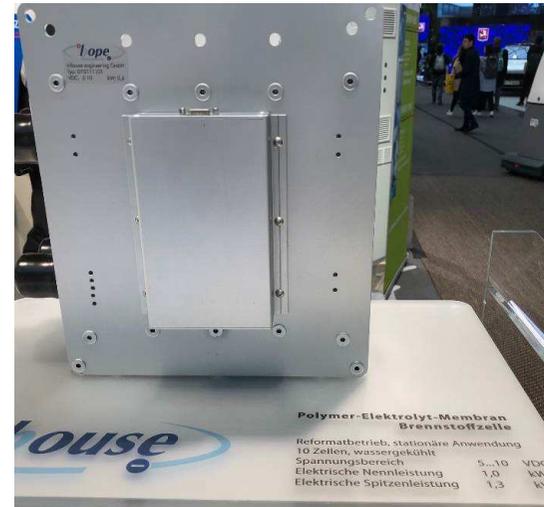
SR、HTS/LTS+メタネーション反応適用、メタネーション触媒は自社開発。他の触媒は購入品。FPS自体の開発も実施。COは5ppm程度に制御され、温度過上昇等の問題もないとのこと。

メタネーション触媒運転温度は200℃以上でターゲットCO濃度は<20ppm。

スタックは、Power cell社製。

ニーズ(BOS機能有無)に応じ、UPS搭載。

# CHP (PEMFC, 5kWac) Inhouse (ドイツ)



改質タイプと純水素タイプをラインナップ (スペック表は改質タイプのみ)

AC4.2kW (DC5kW) で、DC/AC インバータ内臓。

1家庭では1kWで十分だが、複数への家庭への供給、その他 (業務用) を想定し、5kWを選択しているとのこと。

fuel cell type	LT-PEM
fuels	natural gas (biogas / liquid gas are in test)
nominal power electrical	5 kW
nominal power thermal	7,5 kW
total efficiency	ca. 92%
electrical efficiency	ca. 34%
temperature heating circuit	max. 50 / 70°C
cold start time appr.	ca. 1 h
alternation of load 30 - 100 %	ca. 15 min
dimensions (w x h x d)	740 x 1550 x 1159 mm <sup>3</sup>
weight appr.	ca. 380 kg
facility testing	since 2001

出典: 会場のパンフレット

参考: <https://www.inhouse-engineering.de/en/fuel-cell/chp/>

# CHP (PEMFC, 700Wac) SENERTEC (ドイツ)

**Neu**

Einfach beim Heizen Strom erzeugen.  
**Der neue Dachs mit Brennstoffzelle.**

Dachs InnoGen

**SENERTEC**  
Der Dachs. Die Kraft-Wärme-Kopplung.

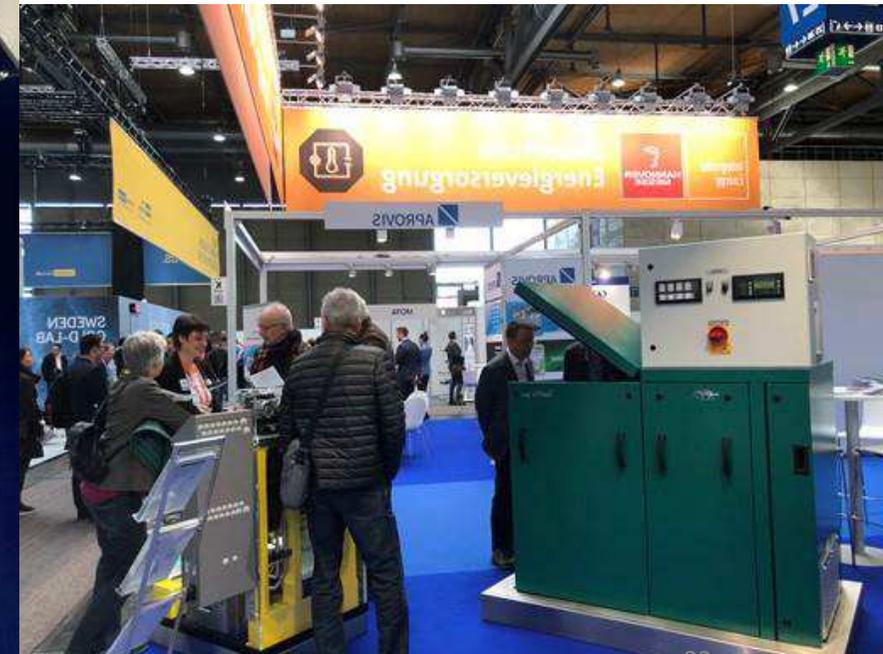
Der Dachs. Das Kraftwerk für Strom und Wärme.

**Der Dachs InnoGen**  
Die innovative KWK-Lösung für das Eigenheim.

Energieeffizienzklasse:	A++
Brennstoffe:	Erdgas Typ E und LL
Thermische Leistung (W):	210 bis 950 (Modulationsbereich)
Elektrische Leistung (W):	250 bis 700 (Modulationsbereich)
Elektrischer Wirkungsgrad (%):	max. 37,7%
Brennstoffzellen-Typ:	Polymerelektrolyt- membran (PEM)
Stacklebensdauer:	80.000 h @ 1000 Start/ Stop-Zyklen

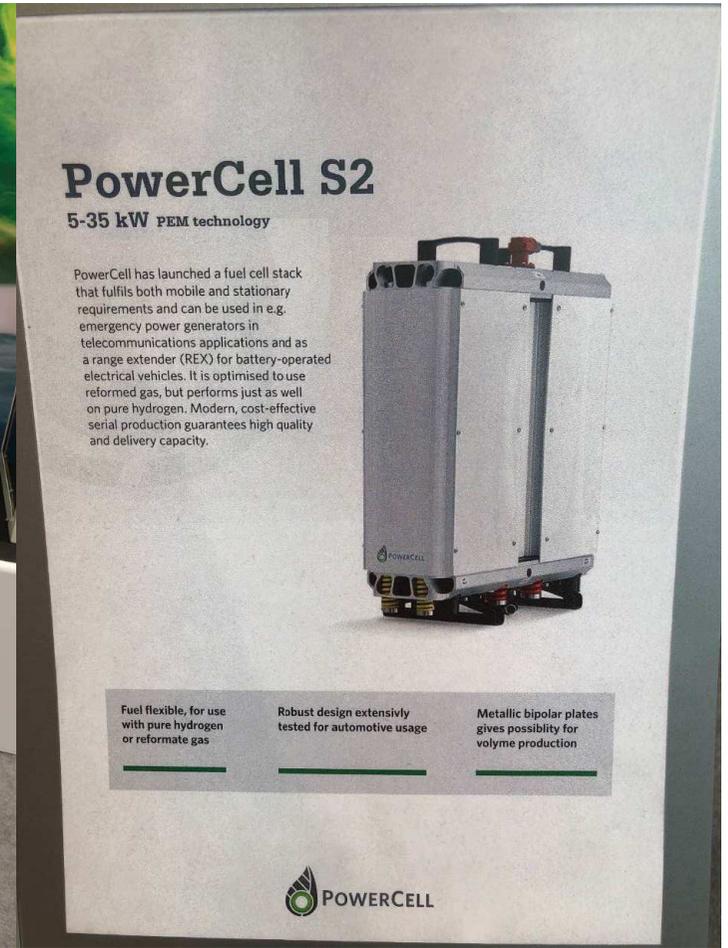
**Die Zukunft beginnt im Heizungskeller**

- Hohe Laufzeiten durch Modulationsfähigkeit, 300l-Pufferspeicher und Regeneration im Betrieb
- Wartung für Brennstoffzellen-Heizgerät nur alle 3 Jahre
- Energiemanager mit Touchscreen
- Einfache Logistik, Einbringung und Installation durch modularen Aufbau



出典: 会場のパンフレット

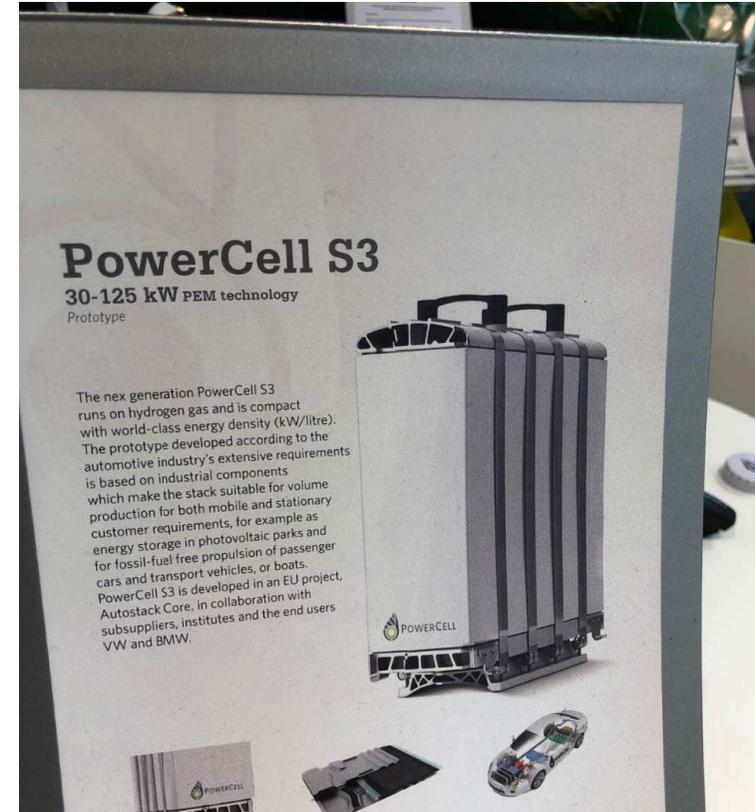
# スタック Power Cell (スウェーデン)



35kW出力,改質ガス, 低圧仕様, CE認証取得済み

出典:会場のパンフレット

## スタック Power Cell (スウェーデン)



100kWDCモジュール (プロト機) , パッケージ容量300L。  
S3 MAX 125kWDCのスタック (セル数455枚、419x568x156mm) を搭載。  
純水素, 5bar程度で運転する高圧タイプ。耐久性は25,000h。  
エアコンプレッサー搭載 (DC/DC, ラジエータは別設置) , VW、BMWに供給し、試験中

出典: 会場のパンフレット

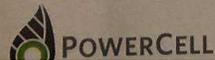
<https://www.powercell.se/wordpress/wp-content/uploads/2018/12/powercell-ms100-datasheet-pdf.pdf>

# スタック Power Cell (スウェーデン)

出典: 会場のパンフレット

## Physical Data:

Net electric power	20 - 30 kW
Voltage output	134-290 V DC
Start-up time	30 s
Expected lifetime power generation	10 000 h
Expected lifetime	5 years
Temperature & RH ambient range	-20°C to 50°C, 5-95% non-condensing
Installation environment	Outdoor, Pollution degree 3
Dimensions (WxDxH)	415 x 641 x 656 mm
Weight	145 kg
<b>Maximum cooling inlet temperature</b>	
- HT cooling (fuel cell stack)	70°C
- LT cooling (cathode compressor)	45°C
Fuel supply pressure	10 barG
Fuel quality	Hydrogen grade 3.5 or higher
Fuel consumption	158 / 316 / 437 slpm @ 10 / 20 / 30 kW
Maximum system efficiency	>53%
Sound level	<80 dBA at 1 meter at max. power
IP classification	IP54
<b>BoP supply power</b>	
- HV input	3.5 / 5 kWe @ 300 - 440 V DC
- LV input	0.5 / 1.5 kWe @ 24 V DC
Communication	CAN-bus, relay dry contact (em.stop) or other on request
<b>Standby power consumption</b>	
Non-freezing	60 W
Sub-zero	350 W



## Physical Data:

### Specification for standard stack sizes

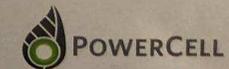
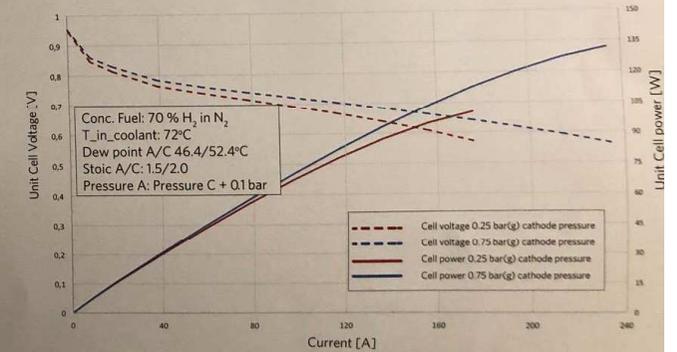
	3	6.5	10	26	35.5
Max power (kW)	3	6.5	10	26	35.5
Cell Count	24	48	72	192	264
Dimensions (mm)	490x125x155	490x158x155	490x192x155	490x358x155	490x459x155
Weight (kg)	11.2	13.7	29	34	43

\*PowerCells S3 stack power and size can be modified for specific needs

### All models

Max continuous temperature	85 °C
Humidity	Non-condensing at inlet
Fuel Pressure	< 1.2 Bar (g)
Coolant pressure	< 1.5 Bar (g)
Ambient temperature	-30 - 70 °C
Fuel composition (dry basis)	40-100 % H <sub>2</sub> (0-80% inert dilutants, i.e. He + N <sub>2</sub> + Ar)

## Unit Cell Data:

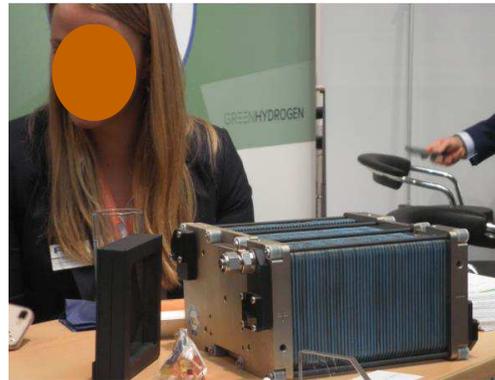


<https://www.powercell.se/wordpress/wp-content/uploads/2018/12/powercell-s3-datasheet-pdf-190129.pdf>

# スタック Proton Motor (ドイツ)

(図面を削除しました。)

ページ下部のリンクを  
参照ください



PM200 (BOPモジュールなし)  
PM200:2.2kW~15.4kW  
※上図は2.2kWと推定

Fuel Cell Power [kW]	15.0	22.5	30.0	37.5	45.0	52.5	60.0	67.5	75.0
<b>Electrical System</b>									
Power Range [kW]	2.0-15.0	2.9-22.5	3.9-30.0	4.8-37.5	5.8-45.0	6.8-52.5	7.7-60.0	8.7-67.5	9.7-75.0
Current Range [A]	0-500								
Voltage Range [V DC]	30-55	45-83	60-110	75-137	90-165	105-192	120-220	135-248	150-275
EL System Efficiency [%]*	51-69								
<b>Hydrogen System</b>									
Hydrogen Quality	ISO 14687-2 / SAE J2719								
H2 Supply Pressure [bar <sub>a</sub> ]	1.2-8.0								
Hydrogen Consumption (max) [kg/h]	< 0.92	< 1.37	< 1.82	< 2.27	< 2.72	< 3.18	< 3.63	< 4.08	< 4.53
<b>Dimensions</b>									
Width x Height [mm x mm]**	434 x 277								
Length [mm]**	452	542	632	722	812	902	992	1082	1172
Volume [l]	34.1	43.1	52.1	61.2	70.2	79.2	88.2	97.2	106.3
Tare weight [kg]	42	50	56	65	71	78	86	93	100

\* without peripherals  
\*\* main dimensions

出典: 会場のパンフレット

**PM 400 Fuel Cell Stack Module,  
the heart of PM's technology**

With over 20 years of experience,  
the PM Stack Module guarantees high  
performance and reliability. Its straight-  
forward and flexible integration  
makes the PM Stack Module ideal  
for multiple energy applications.

Environmental Conditions	
Ambient Temperature [°C]	-45 to +60
Operating Altitude* [m]	< 2,000
Humidity** [% r.H.]	< 95
Lifetime [op. hrs.]	> 20,000
Others	
Conformity	CE
Protection Class	IP65

\* without de-rating  
\*\* non condensing

Errors excepted, technical changes reserved.  
Product specifications are subject to change without further  
notification.

多様なニーズに応じるため、15~75kWまで細かくラインナップを揃える

<https://www.proton-motor.de/wp-content/uploads/PM400-Datenblatt-120718.pdf>

# スタック elringklinger & GIANTLEAP (ドイツ)



出典:会場のパンフレット

スタックモジュール

**Metallic bipolar plates**

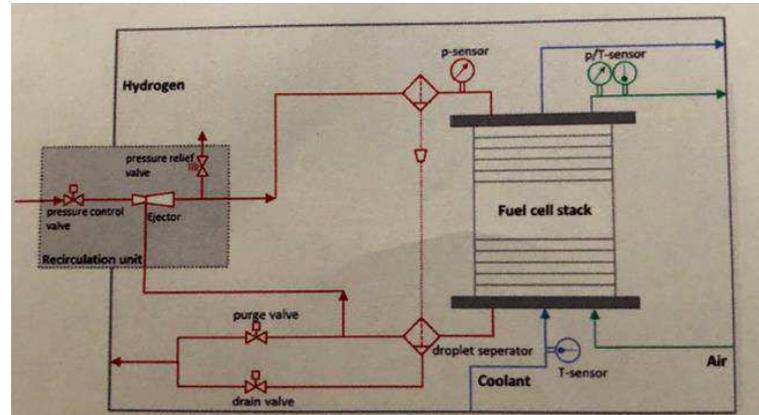


Figure 2: P&ID of GIANTLEAP Stack Module configuration with integrated sensors, valves and the hydrogen recirculation loop

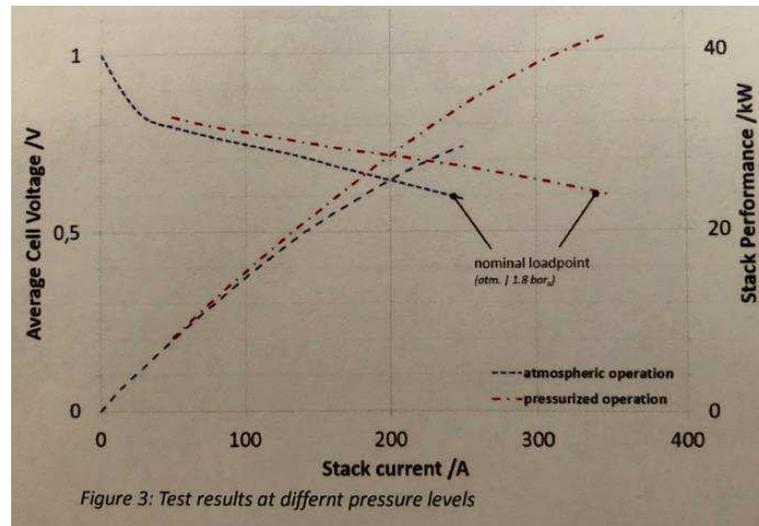


Figure 3: Test results at different pressure levels

出典:会場のパンフレット



PEMスタックDCモジュール,70kW(Net)  
※about 90kW(Gross)



SOFCスタック,5-20kW

# スタック&システム AXANE (フランス) \*Air Liquideの子会社

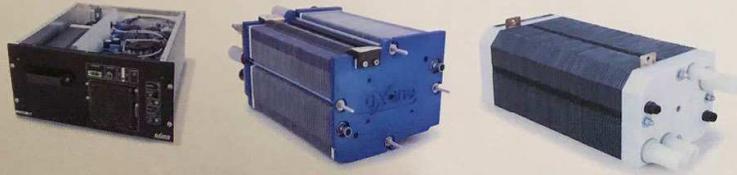


## Field of applications



Axane, a subsidiary of the Air Liquide group, designs tailor-made solutions and provides hydrogen fuel cell engineering that covers every aspects required to customize your project involving fuel cell technology:

- ✓ Specifications
- ✓ Design
- ✓ Modeling – CFD
- ✓ Optimization of energy systems
- ✓ Tests facilities: hybride systems
- ✓ System integration
- ✓ Prototypes
- ✓ First series
- ✓ Test benches for stacks and systems
- ✓ Performance characterization
- ✓ Durability
- ✓ Climate chamber, vibration, shock



## Our benefits

More than 20 years of PEM fuel cell solutions



From the AME to the integrated solution (design, industrialization, production and operation)



Power density: 1W/cm<sup>2</sup> @ 0.6V at atmospheric pressure



More than 20,000 hours MEA lifetime in operation



Heat control: -20 / + 50°C ambient temperature (storage, start-up, operation)



Low hydrogen consumption: 0.74 Nm<sup>3</sup>/kWh for complete system



A proprietary technologies portfolio: liquid-cooled stacks (graphite closed cathode cells), air cooled stacks, balance of plant, including the design of key components

## Unique experience feedback



On deployed and full-time operated fuel cells (telecom base load power, material handling and military applications)

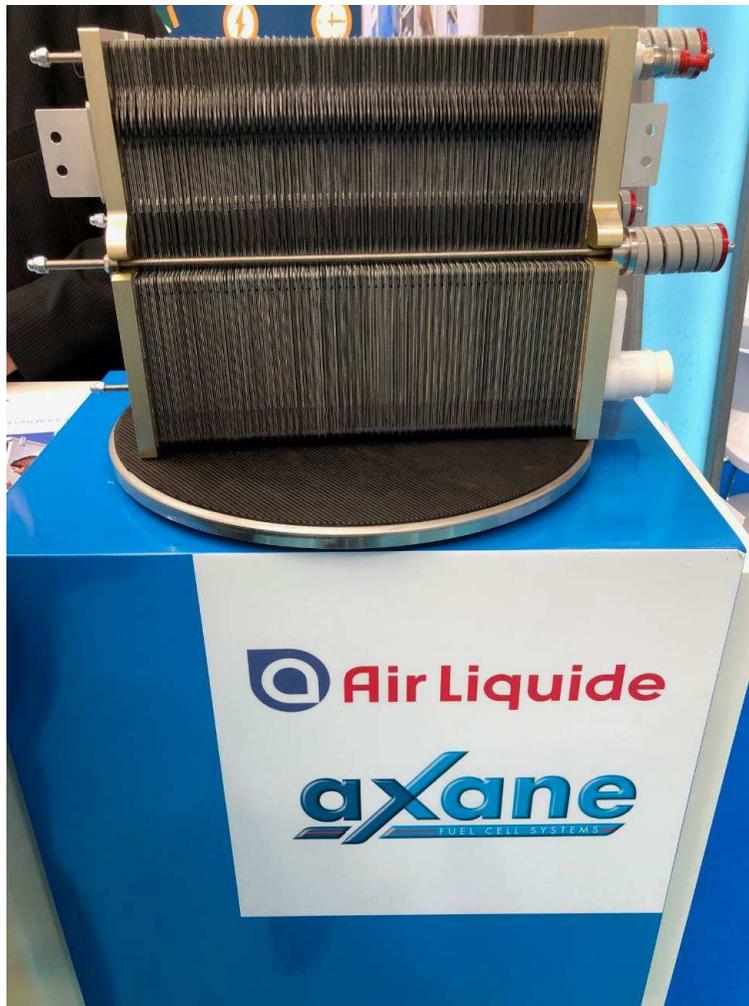


More than 300 systems deployed worldwide



出典: 会場のパンフレット

スタック&システム  
 AXANE (フランス) \*Air Liquideの子会社



PEMスタック,14kW

PEM LI Fuel cell stacks

English

**axane**  
FUEL CELL SYSTEMS

**STACKS PEMFC – LT**  
**Proton Exchange Membrane Fuel Cell**  
 For stationary, mobile and custom fuel cell solutions

**Product Datasheet**  
 Revision V4 - 0.2 February 2019



**LPS (2.5kW)**



**HPS (14kW)**

**High lifetime PLUS high efficiency, AND ...**  
 ... Designed for energy savings on the Balance of Plant  
 ⇔ Lower H2 consumption ⇔ reduced TCO

**How ?**

Low feed-pressure on:

- Anodic (Hydrogen) path
- Cathodic (Air) path
- Coolant circuit

} ⇒ { **reduced pressure & pressure drops**  
 ⇔  
 Reduced energy consumption of BOP components:  
 H<sub>2</sub> re-circulator, Air Compressor, cooling pump, etc

**Closed cathode technology**

- ⇨ Wide range of climatic conditions
- ⇨ Air flow limited to process need (not for cooling) => easy preconditioning & high efficiency
- ⇨ Improved MEA lifetime

**Low temperature of operation**

- ⇨ Improved MEA lifetime + wide range of climatic conditions + low noise emission
- ⇨ Easy integration

**Graphite cell plates**

- ⇨ High stability (no oxidation, mechanical stability, constant conductivity etc)
- ⇨ Long life time

Improved stack flexibility and power range (0 to 100% of Pnom)  
 Overpower compliance: 110 %  
 High tolerance to Operation at high current density => 0.4V/cell tolerated

Copyright © 2019 AXANE Fuel Cells Systems

出典:  
 会場のパンフレット

# スタック&システム AXANE (フランス) \*Air Liquideの子会社



## Autonomous electrical generator

2kW @ 48 VDC

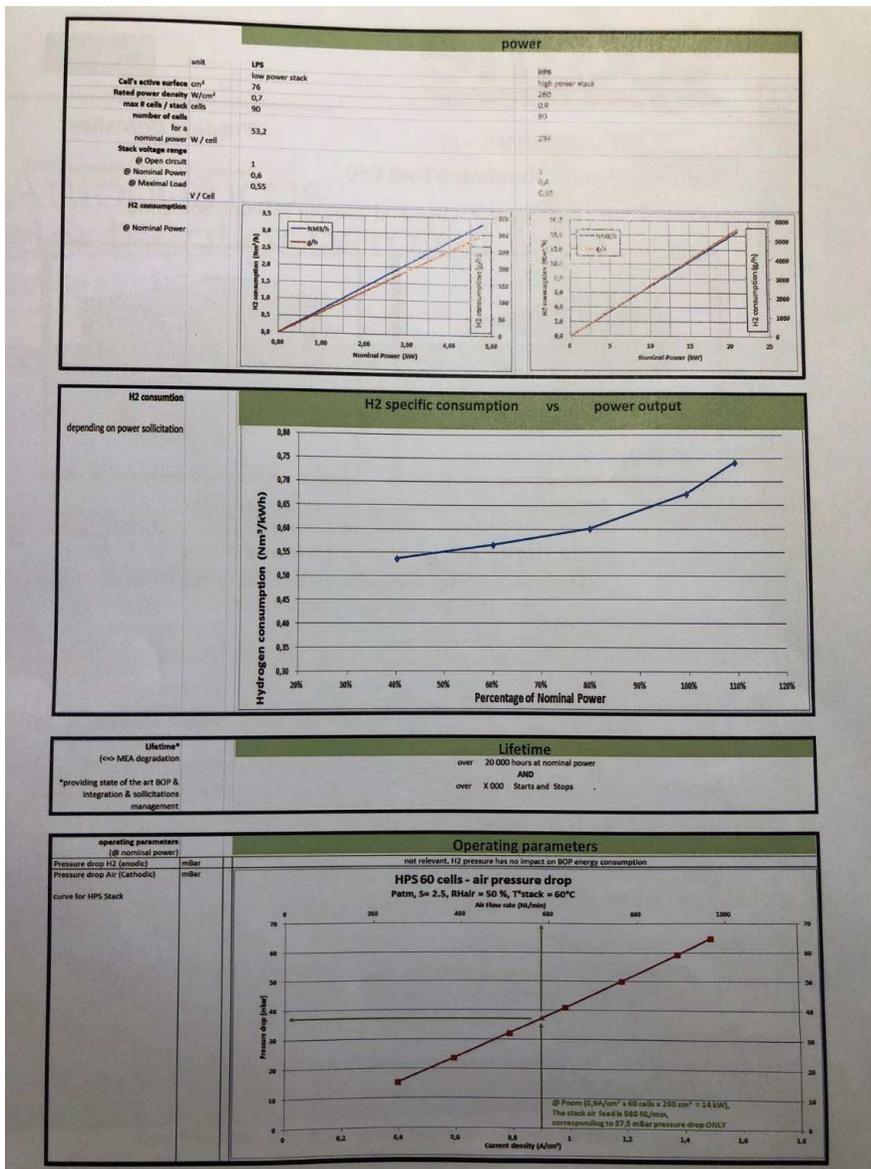
GENERAL SPECIFICATIONS	
Dimensions (W x L x H)	940 x 450 x 385 mm
Weight	35 Kg
Max operating inclination	5°
Start-up time	< 1minute
Stop time	< 1 minute
OPERATING SPECIFICATIONS	
Storage temperature	-40°C / +70°C
Operating temperature	-20°C / +45°C
Cold start-up temperature	0°C / +45°C
Max operating altitude from sea level	2000 metres
ELECTRICAL SPECIFICATIONS	
Nominal output voltage	48 VDC
Acceptable voltage range on continuous bus for nominal operation	44-56VDC
Stationnary nominal outpur power	2000 W
Max output power during pics (< 15 s)	2500 W
GAS SPECIFICATIONS	
Hydrogen	
Nominal operating pressure	300 mbar +/- 100 mbar
Pic flow rate (during purges)	50 NL/min
Process Air (reactant)	
Flowrate Max.	180 NL/min
Air quality	media G4 air filter type
EFFLUENTS	
Liquid	
By-product water	Max. 0,45 g/s
Thermal	
Heat evacuated	Max. 3 kW

**axane** 2, rue de Clémenceire BP 15 38360 SASSENAGE France Tel. : +33 (0)4 76 43 80 47 www.axane.com

**Air Liquide** creative oxygen

2kW電源装置

出典:  
会場のパンフレット



スタックデータシート



## Fully integrated fuel cell controller

An alternative to PLC\* that meets your fuel cell system needs



**Key benefits:**

- Compact
- Lightweight
- Covers all the electrical needs of fuel cell systems
- Economical solution
- Ready-to-use
- Efficient and reliable system
- User-friendly

**Our fuel cell controller board consists of two STM32 on-board microcontrollers**

- One for safety management (Safety Integration Loop SIL 3 and 4)
- One for control command processes

**How does it work?**

The signal conditioning circuits are integrated to directly collect the sensors' signals (current, voltage, temperature, flows, pressures, etc.). These circuits also provide output signals to directly control the components of the balance of plant (hydrogen inlet valve, Air compressor, coolant pump and fan, valves, power contactors etc.)

The signal communicates with its environment (RS232, RS485, USB, CAN, Ethernet, I2C), and collects and stores operating data on a micro SD card with a data link port.

With on-board installed LED indicators, this controller displays the fuel cell system's status.

The software and the functionalities can be handled by the user, or tailor-developed by our teams. Our fuel cell controller board is the fruit of hundreds of fuel cell system deployments in demanding applications.

\*PLC: Programmable logic controller

出典：  
会場のパンフレット

制御装置設計も手掛けている

## SFC ENERGY (ドイツ)



45W、110W、500WのDMFC バックアップ電源をラインナップ  
バッテリーは長持ちせずに使えない、数か月のデータ撮りが必要な電源  
無し地域に期間限定設置

(例えば、風力発電設置前のデータ撮りなどに活用)  
かなりニッチなマーケットだが、41,000ユニット以上出荷。  
日本でも50台程度出荷。日本市場は豊田通商が販売。

(図面を削除しました。)  
ページ下のURLを参照ください。

豊田通商HP掲載: <http://ttc-fuelcell.com/sfc/efoy/>

# スタックモジュール SUSY (ドイツ)

## Performance Data:

operation power	16 - 21 V DC
electrical output	450 W nominal, 500 W max.
current	18 A at nominal power
efficiency	~ 45% at 500 W
fuel supply	Hydrogen 3.0
fuel consumption	~ 6.0 NL/ min at 450 W
start-up time	< 3 sec
lifetime	2000 h at 200 start/ stop-cycles
optimal working temperature	55 °C (stack temperature)

## Interfaces:

hydrogen-inlet	1/8" inside thread
pressure range	2 - 20 bar
electr. power connector	4 mm <sup>2</sup> screw terminal
controller interface	SUB-D9 (RS232)
overcurrent protection	22 A (flink)

## General Data:

dimensions (L x B x H)	244 mm x 155 mm x 180 mm
weight	~ 4.0 kg
noise emission	~ 25 dBA in 7 m distance
emissions	water (humid air), heat

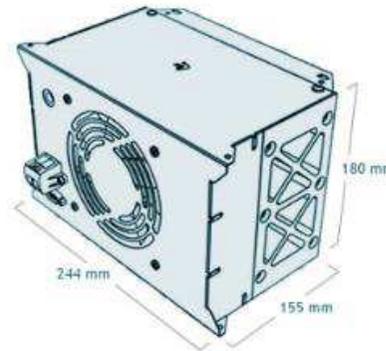
## Installation requirements & Storage:

installation space (L x B x H)	≥ 255 mm x 215 mm x 190 mm
inclination to transverse axis	20° short-term, 10° permanent
inclination to longitudinal axis	20° short-term, 10° permanent
operating altitude	max. 1500 m above sea
start temperature	5 - 35 °C
operating temperature	5 - 35 °C
storage temperature	-10 - 55 °C

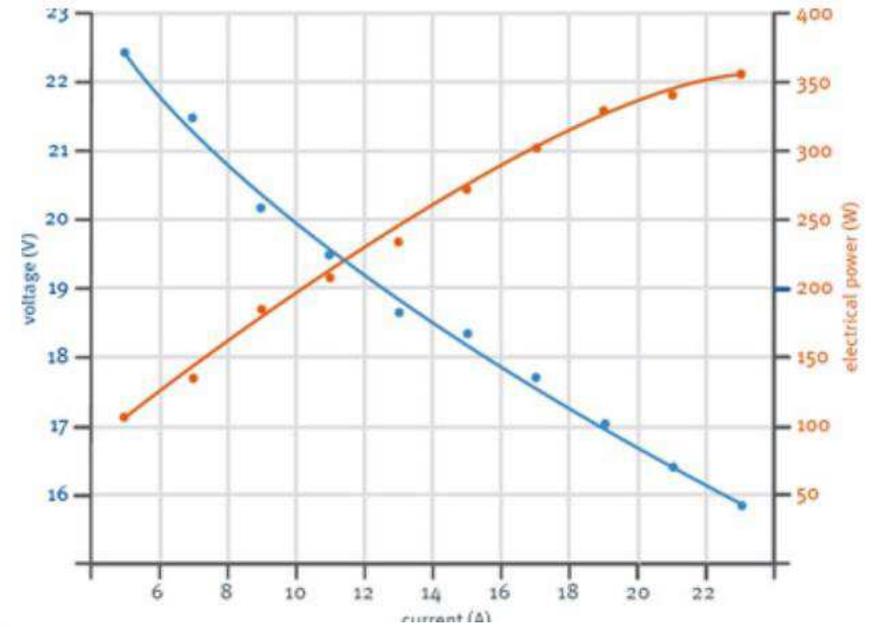
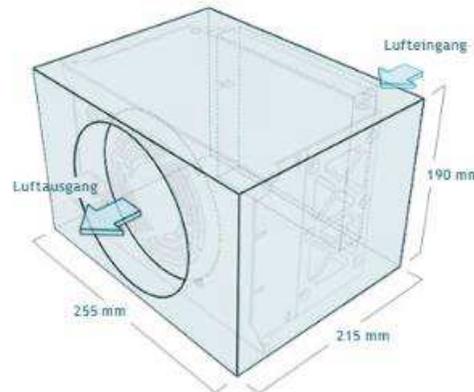
The ready-to-use Fuel Cell:  
Easy integration without expert knowledge!



## Dimensions:



## Installation space:



PEMFC  
450W (500W peak)

<https://www.susy-power.com/en/susy500/technical-data.html>

# Baltic Fuel Cells (ドイツ)

The **Electrum 1000 fuel cell system** is the ideal solution for critical back up power applications. It offers reliable power supply and high system efficiency.

The system's core is based on PEM fuel cell stacks from Baltic **FuelCells** and provides an output of **1 kW electric power**. The module is built with an enclosed and robust housing. An optimized form factor enables easy integration in 19" systems.

The **Electrum 1000** uses a fully integrated power management system allowing the customer to monitor and control the system at any given time.



## technical data

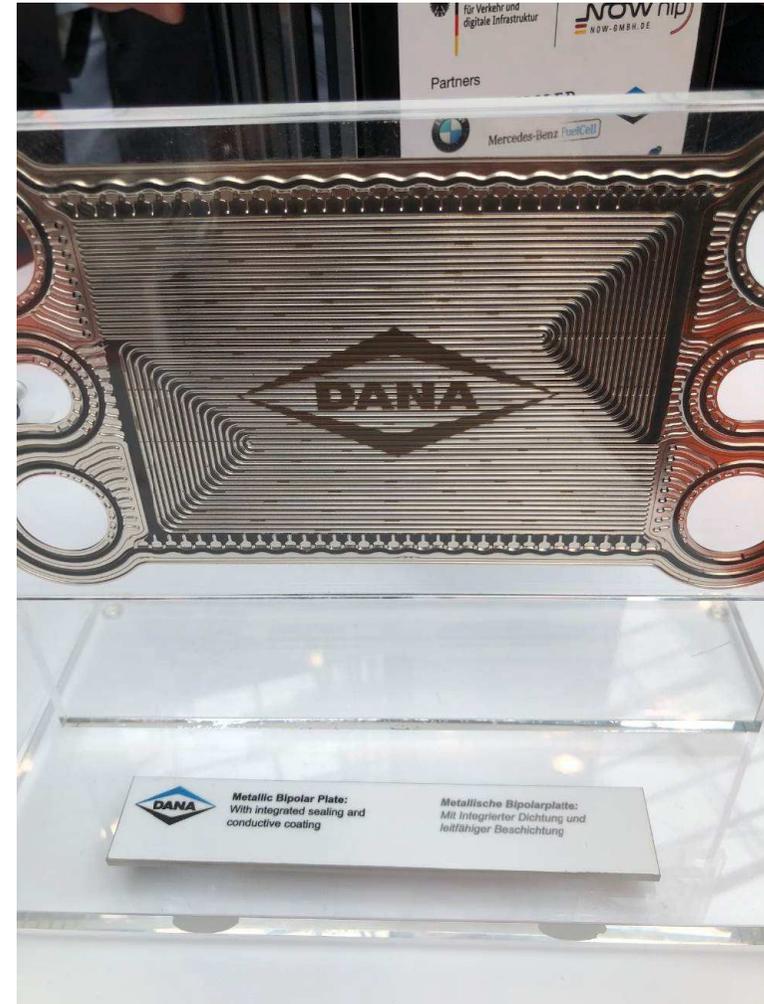
	Electrum 1000-24	Electrum 1000-48	Electrum 1000-AC
fuel cell type		PEM (Proton Exchange Membrane)	
nominal voltage	24 V DC	48 V DC	-
voltage range	20.5 - 27.5 V DC	40.5 - 55 V DC	110 - 230 V AC
electr. current	40 A (at nominal power)	20 A (at nominal power)	4.5 A (at 230 V AC)
operating temperature		5 °C - 45 °C	
efficiency		45 % at 1000 W	
media		hydrogen 3.0 (dry), ambient air	
H <sub>2</sub> consumption		appr. 11 sl per min	
H <sub>2</sub> inlet pressure		2 - 20 bar	
dimensions (w x h x l)		482 mm x 244 mm x 500 mm	
net weight	appr. 15 kg	appr. 17 kg	appr. 20 kg
response time		immediate	

<https://donar.messe.de/exhibitor/hannovermesse/2018/M521260/electrum1000-eng-555392.pdf>

# DANA (USA) , セパレータ製造 etc.



(上図は85kW スタック)



metallic bipolar plates

# INSPIRE : EU主導コンソーシアム開発

*Integration of Novel Stack Components for Performance, Improved DuRability and LowEr Cost*

INSPIREは、研究、技術開発、デモンストレーションをサポートするユニークな官民パートナーシップである助成金契約番号700127に基づく、ヨーロッパの燃料電池および水素共同事業(FCH JU)からの700万ユーロの助成金に支えられた3年間の研究開発プロジェクトです。

ヨーロッパの燃料電池および水素エネルギー部門業界主導のプロジェクトの全体的な目的は、現在存在する最先端の重要なPEMFCスタックコンポーネントをまとめ、これらを大規模な自動車用燃料電池の商品化に必要なパフォーマンス、耐久性、およびコスト目標の最も厳しい目標を達成できる燃料電池に統合することです。

これらのコンポーネントはすでに実験室で一貫して実証されており、さらに開発、スケールアップ、および先進世代の自動車用燃料電池スタックへの統合により、産業に関連する環境でのテクノロジーのアプリケーションを実証しています。

コンソーシアムのメンバーには、燃料電池コンポーネントのサプライヤー、学術機関、自動車メーカーのBMWグループが含まれます。

(右記のURLから抜粋、翻訳)



※INSPIRE HPより抜粋

<http://www.inspire-fuelcell.eu/index.php>

出典: 会場のパンフレット

## OBJECTIVES

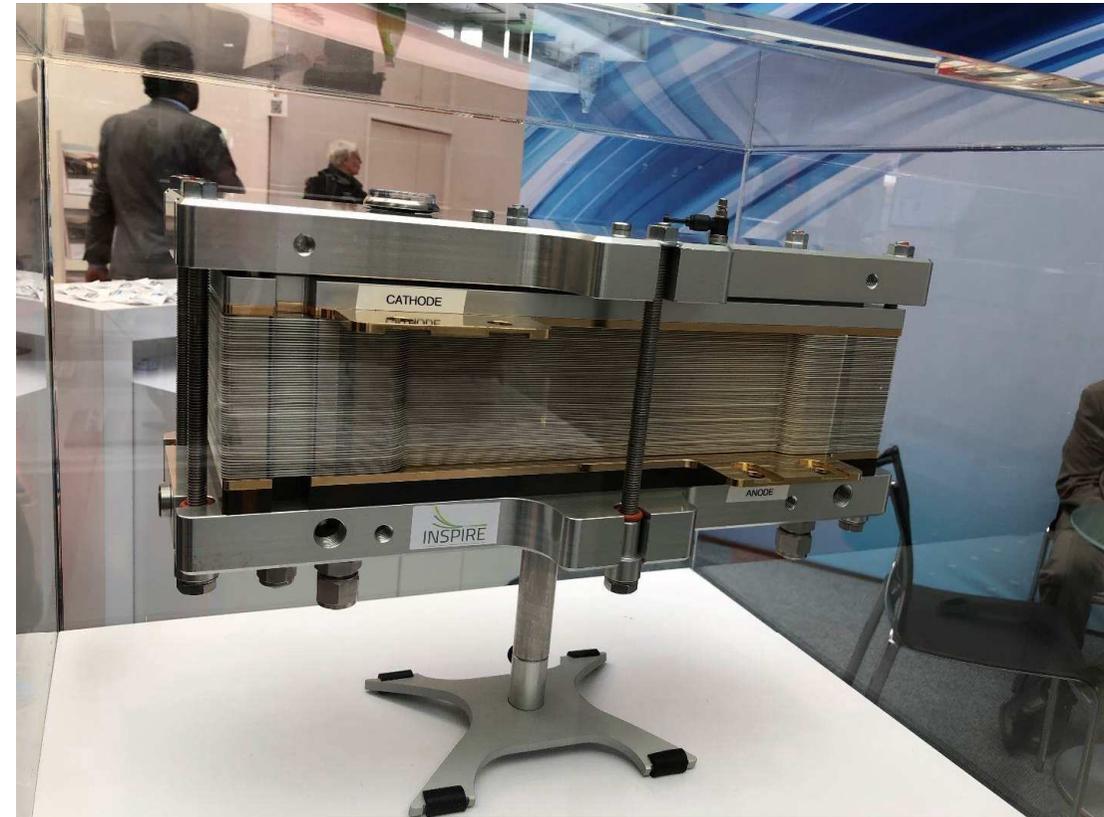
・世界をリードする新しいスタックコンポーネント(電極触媒、メンブレン、ガス拡散層、バイポーラプレート)の可能性を実現し、これらを燃料電池スタックに統合して、自動車の初期電力密度を0.6Vで1.5 W / cm<sup>2</sup>に向上する。

・スタックが、運転挙動によるドライブサイクルで、10%未満の電力劣化で6,000時間を超える動作を実現する能力を実証する。

・年間50,000ユニットの生産台数条件で、自動車用スタックの生産コストを50ユーロ/ kWの目標を下回ることを実証するコスト評価調査を提供する。

・技術の継続的な開発と最適化、および製造のスケールビリティの実証を含む、関連する条件下での実用的な燃料電池ハードウェアでの実験室の実証からスケールリングされた材料の完全な実証まで、一連の新しいスタック材料とコンポーネントの確立を進める。

(下記URLから抜粋して翻訳)



DANA, metallic bipolar plates



5年間メンテフリー  
ヒータにて300℃程度に制御しているとのこと

E45.

# InnoSulf



## Desulfurization for fuel cells systems

Cost-effective removal of sulfur compounds from natural gas / LPG

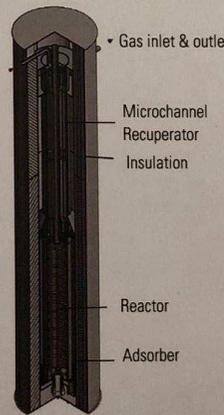
### Technology

- Hydrodesulfurization (HDS) using reformat
- Selective Catalytic Sulfur Oxidation (SCSO) with air

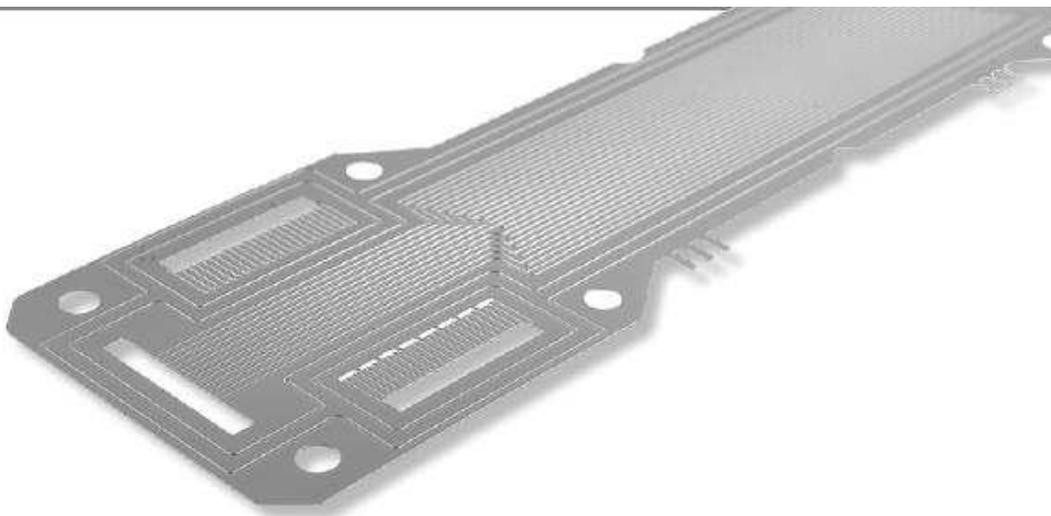
### Results

- Reliable desulfurization unit
- Significantly increased maintenance cycle
- Very low operating costs

Technical details	HDS	SCSO
Type	VM 5/3kW-V2.0	
Fuel cell performance class	3 - 5 kW	
Cold start time	< 30 min	
Maintenance rate	30.000 h	10.000 h
Capacity compared to state-of-the-art	6x	2x
Fuel	Natural gas (< 1 Vol.-% O <sub>2</sub> ), LPG	
Supplies	1 - 4 Vol.-% H <sub>2</sub> **	0,1 - 1 Vol.-% O <sub>2</sub>
Sulfur content raw gas	< 10 mg/Nm <sup>3</sup> *	
Sulfur content clean gas	< 0,1 mg/Nm <sup>3</sup>	
Electrical power input	< 100 W	
Dimensions	100 x 850 mm (d x h)	
Weight	ca. 10 kg	




# IMPACT COATINGS (スウェーデン) /コーティング技術

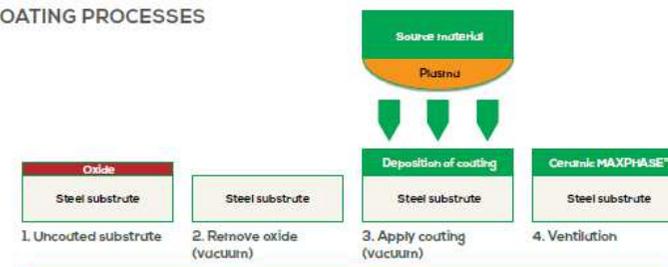


The Ceramic MAXPHASE™ coating enhances performance and lifetime of metal bipolar plates in fuel cells. The PVD (physical vapor deposition) coating is proven state-of-the-art for both proton exchange membrane fuel cells (PEMFC) and direct methanol fuel cells (DMFC).

Offering a unique combination of low contact resistance, high corrosion resistance, and low cost, it exceeds both performance and cost reduction targets set up by the US Department of Energy.



## COATING PROCESSES



The process is a vacuum-based plasma treatment and involves vaporization of the source material, which condenses on the substrate and forms a coating.

Ceramic MAXPHASE™ consists only of safe and low-cost materials and there are no noble metals involved.

## Superior coatings for metal bipolar plates

- Very low contact resistance
- Outstanding corrosion resistance
- No noble metals involved
- Cost-effective production

The Ceramic MAXPHASE™ coating is the primary choice by automotive companies globally for metal bipolar plates in PEM fuel cells.

Impact Coatings' technology, with unique properties for efficient and durable fuel cells, in combination with very cost-effective production solutions, enables the automotive industry to ramp up production of fuel cell electric vehicles today.

## CERAMIC MAXPHASE™ TECHNICAL DATA

PROPERTY	VALUE
Contact resistance <sup>(1)</sup>	< 3 mΩcm <sup>2</sup>
Corrosion current <sup>(2)</sup>	< 1 μA/cm <sup>2</sup>
Lifetime	> 5,000 hours for stainless steel 316L plates
Coating thickness	< 0.5 μm
Coating adhesion	ISO 2409:2013, classification 0
Chemical composition	Ceramic material without noble metals
Substrates	Half plates, bipolar plates, and end plates
Recommended substrate materials	Stainless steel 316L (Contact us for other alloys and metals!)
Typical substrate thickness	0.1 – 0.2 mm (Contact us for other thicknesses!)
Coating system	INLINECOATER™FC (physical vapor deposition – PVD)

<sup>(1)</sup> 140 N/cm<sup>2</sup>, measured using gold coated cylinder and Toray 030 carbon paper

<sup>(2)</sup> Potentiostatic test (1 mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1 ppm F-, 0.6 V vs. Ag/AgCl, 80 °C)

<http://www.impactcoatings.com/wp-content/uploads/2019/02/Ceramic-MAXPHASE-2019.pdf>

出典: 会場のパンフレット

# テクノ高槻殿（日本） 燃料ブロワ



# Fraunhofer（ドイツ） PEM水電解+100WPEMFC



# NOWブース



※Proton Motor製30kWスタック搭載

# TOYOTA殿ブース (ミライ スタックモジュール展示)



# TOYOTAブース (カタログ)

## Outline of the Mirai



The Mirai is a fuel cell vehicle (FCV) which uses hydrogen as energy to generate electricity and power the vehicle.

### Fuel cell system

The energy source for the Mirai, hydrogen, can be produced from various types of primary sources, making it a promising alternative to current energy sources. The Toyota Fuel Cell System (TFCS) combines proprietary fuel cell technology that includes the Toyota FC Stack and high-pressure hydrogen tanks with the hybrid technology. The TFCS has high energy efficiency compared with conventional internal combustion engines, along with superior environmental performance highlighted by zero emissions of CO<sub>2</sub> and other substances of environmental concern during vehicle operation. The hydrogen tanks can be refueled in approximately three minutes<sup>(\*)</sup>, and with an ample cruising range, the system promises convenience on par with gasoline engine vehicles.

<sup>(\*)</sup> Toyota measurement under SAEJ2601 standards (ambient temperature: 20°C, hydrogen tank pressure when fueled: 10 MPa). Fueling time varies with hydrogen fueling pressure and ambient temperature.

## Key Specifications

### Driving performance

Vehicle	Cruising range	Approx. 700 km (E28 mode test cycle, Toyota measurement)
	Maximum speed	175 km/h
Fuel cell stack	Volume power density	3.1 kW/L (world leading level <sup>(*)</sup> )
	Maximum output	114 kW (155 PS)
	Tank storage density <sup>(**)</sup>	5.7 wt% (world leading level <sup>(**)</sup> )
High-pressure hydrogen tank	Number of tanks	2
	Nominal working pressure	70 MPa (approx. 700 bar)
	Tank capacity	600 L
Motor	Maximum output	113 kW (154 PS)
	Maximum torque	335 N·m (34.2 kgf·m)

### Dimensions / seating capacity

Length	4,890 mm
Width	1,815 mm
Height	1,535 mm
Curb weight	1,850 kg
Seating capacity	4

<sup>(\*)</sup>As of November 2014, Toyota data <sup>(\*\*)</sup>Hydrogen storage mass per tank weight

出典: 会場のパンフレット

## Outline of the Sora

Toyota began sales of the Sora fuel cell bus in 2018. Toyota expects to introduce over 100 fuel cell buses, mainly within the Tokyo metropolitan area, ahead of the 2020 Olympic and Paralympic Games. The Sora uses the Toyota Fuel Cell System (TFCS) developed for the Mirai FCV to achieve excellent environmental performance with no CO<sub>2</sub> or environmental pollutants emitted while in operation. Concept of the Sora

"Sora" is an acronym for "sky, ocean, river, air" which represents the earth's water cycle. It expresses the idea that progress toward the realization of an environmentally friendly hydrogen-based society comes from the air around us. The name was selected to demonstrate this idea as simply as possible.



## Key specifications

FC stack	Volume power density	3.1 kW/L (world's leading level <sup>(*)</sup> )
	Maximum output	114 kW (155 PS) × 2
High-pressure hydrogen tank	Number of tanks	10
	Maximum storage pressure	70 MPa
	Tank storage density <sup>(**)</sup>	5.7 wt% (world's leading level <sup>(**)</sup> )
Motor	Maximum output	113 kW × 2 (154 PS × 2)
	Maximum torque	335 N·m × 2 (34.2 kgf·m × 2)
Battery	Type	Nickel-metal hydride
	Capacity	20 kWh
High-capacity external power supply (VPPM)	Maximum output	9 kW
	Maximum electric energy	235 kWh
Length (width) height	Approx. 10,323 mm (2,490 mm) × 3,150 mm	
	Capacity (seating × standing × crew)	29 people (22 × 5 × 1)

<sup>(\*)</sup> As of November 2014, Toyota data  
<sup>(\*\*)</sup> Hydrogen storage mass per tank weight

出典: 会場のパンフレット

## Main components

Hydrogen from high pressure hydrogen tanks and oxygen in the air are used to generate electricity in the two FC stacks from electrochemical reactions. This electricity is then supplied to the motors to drive the Sora. Despite its size, the Sora is a quiet and smooth-accelerating zero-emission environmentally friendly vehicle.

### High-pressure hydrogen tanks

Tank storing hydrogen as fuel. The nominal working pressure is a high pressure level of 70 MPa (approx. 700 bar). The compact, lightweight tanks feature world's highest level tank storage density. Tank storage density: 5.7wt%

### Fuel cell stacks

Toyota's first mass-production fuel cell, featuring a compact size and world leading level output density. Volume power density: 3.1 kW/L. Maximum output: 114 kW (155 PS) × 2

### Motors

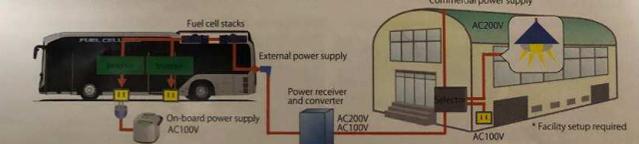
Motors driven from electricity generated by fuel cell stacks and supplied by batteries. Maximum output: 113 kW (154 PS) × 2. Maximum torque: 335N·m (34.2 kgf·m) × 2



## High-capacity external power supply system

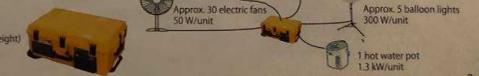
With interest in disaster preparedness increasing after the Great East Japan Earthquake in 2011, FCVs have great potential as mobile generators capable of producing large amounts of electricity. The Sora is equipped with a high-capacity external power supply system that can supply high power (9 kW) as well as large amounts of energy (235 kWh). This system can power evacuation centers such as school gymnasiums in the event of a power cut after a natural disaster.

### Illustration of high-capacity external power supply system in operation



### Illustration of external power supply unit in operation

Mobile external power supply units can be used to provide large amounts of power through up to six 1.5 kW sockets. Multiple electrical items can be powered in any location. Toyota Industries Corporation. Size (mm): 795 (width) × 518 (depth) × 310 (height). Weight: 58 kg



出典: 会場のパンフレット

## PROBEFAHRT MIT BRENNSTOFFZELLENAUTOS TEST DRIVE THE FUEL-CELL VEHICLES

TÄGLICH VON  
9-18 UHR  
DAILY FROM  
9 AM TO 6 PM

Erleben Sie selbst wie es sich anfühlt, emissionsfrei und leise unterwegs zu sein. Mit Wasserstoff im Tank. Beim Einsatz von Wasserstoff als Kraftstoff entstehen keine lokalen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Es kommt lediglich Wasserdampf aus dem Auspuff. Die CEP-Fahrzeugflotte finden Sie im Ride + Drive Bereich östlich vor Halle 27.

Experience first-hand what low-emission, quiet mobility feels like. Using hydrogen as a fuel generates no local CO<sub>2</sub> emissions. Only steam comes out of its exhaust pipe. The CEP vehicle fleet awaits you in the Ride + Drive area east of hall 27.

HANNOVER MESSE

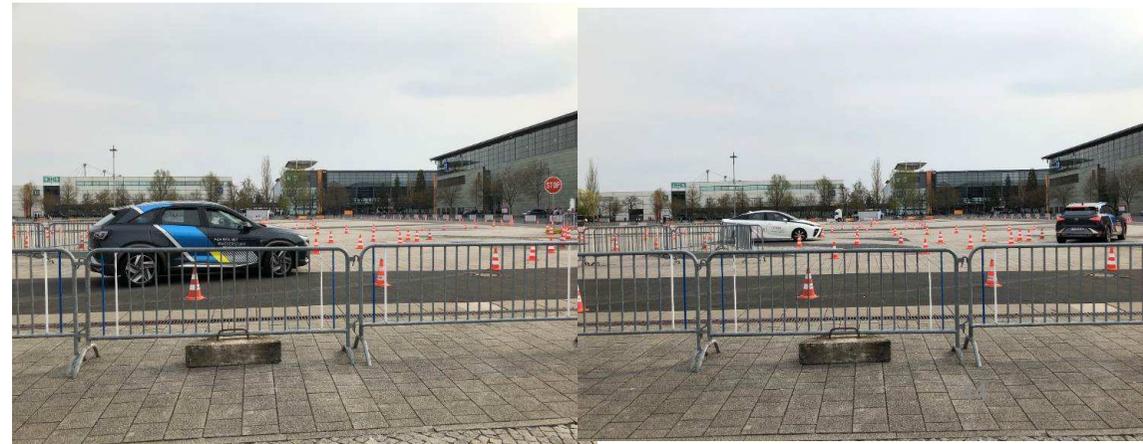
April 01-05  
2019  
Halle 27, C66  
Exhibition Grounds  
Hanover, Germany



	HYUNDAI NEXO	MERCEDES-BENZ GLC F-CELL**	TOYOTA MIRAI
Antrieb / Drive	Brennstoffzelle / Fuel cell	Brennstoffzelle mit Plug-in-Hybrid / Electric vehicle with fuel cell and lithium-ion battery	Brennstoffzelle / Fuel cell
Betankung / Refuelling	gasförmiger Wasserstoff, 700 bar / gaseous hydrogen, 700 bar	gasförmiger Wasserstoff, 700 bar / gaseous hydrogen, 700 bar	gasförmiger Wasserstoff, 700 bar / gaseous hydrogen, 700 bar
Reichweite (NEFZ*) / Range (NECD*)	756 km	H <sub>2</sub> -Reichweite im Hybrid-Modus / H <sub>2</sub> range in hybrid mode: 478 km* Batterieelektrische Reichweite im Batterie-Modus / Battery-electric range in battery mode: 51 km	500 km
Elektromotor / Electric motor	120 kW/163 PS	155 kW/211 PS	113 kW/154 PS
Tankinhalt / Tank capacity	6,33 kg	4,4 kg	5 kg
Kraftstoffverbrauch (H <sub>2</sub> ) kombiniert (NEFZ*) / Fuel consumption (H <sub>2</sub> ) (NECD*)	0,84 kg/100 km	0,34 kg/100 km	0,76 kg/100 km
Stromverbrauch kombiniert (NEFZ*) / Lithium-ion battery capacity (combined) (NECD*)	-	13,7 kWh/100 km	-
CO <sub>2</sub> -Emissionen kombiniert / CO <sub>2</sub> emissions (combined)	0 g/km	0 g/km	0 g/km
Höchstgeschwindigkeit / Top speed	179 km/h	160 km/h	175 km/h
Preis / Price	ab 69.000 Euro	nur Leasing / only leasing services	78.600 Euro

\* Die angegebenen Verbrauchs- und CO<sub>2</sub>-Emissionswerte wurden nach dem vorgeschriebenen WLTP-Messverfahren ermittelt und in NEFZ-Werte umgerechnet. / The stated consumption and CO<sub>2</sub> emission values were determined according to the prescribed WLTP measuring method and converted into NECD values.  
\*\* Der Kraftstoffverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen sind vorläufig und wurden vom Technischen Dienst für das Zertifizierungsverfahren nach Maßgabe des WLTP-Prüfverfahrens ermittelt und mit Genehmigung und einer Konformitätsbescheinigung mit amtlichen Werten liegen noch nicht vor. Abweichungen zwischen den Angaben und den amtlichen Werten sind möglich. / The fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions are provisional and were determined by the technical service for the certification process in accordance with the WLTP test method and correlated into NECD figures. EC type approval and certificate of conformity with official figures are not yet available. Differences between the stated figures and the official figures are possible.

出典: 会場のパンフレット



# 水素製造関連

※水素製造関連 多数展示のため、一部を掲載

# Hoeller Electrolyzer(ドイツ)

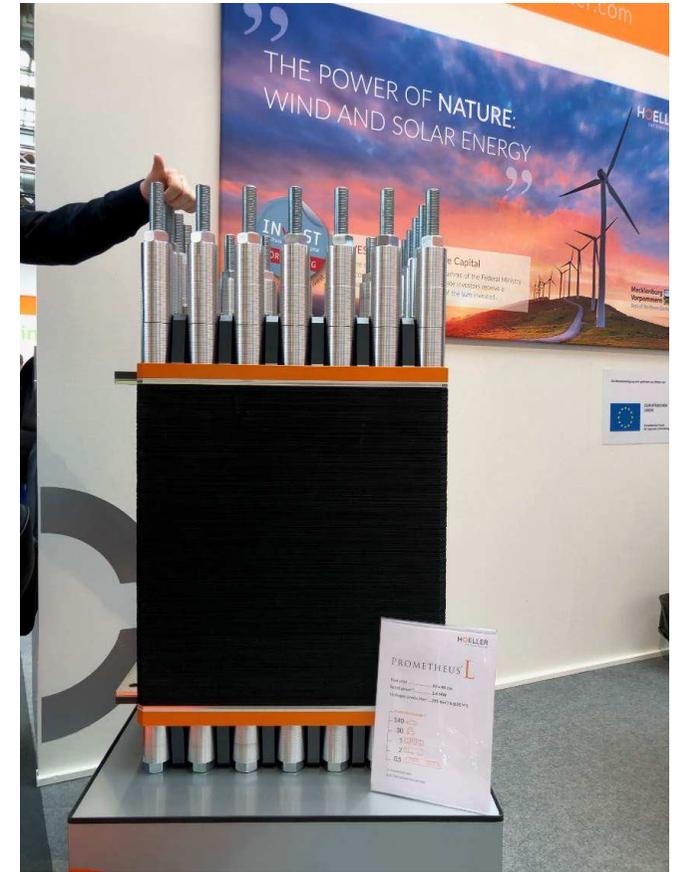
PEM型水電解スタック製造。水素製造量別に、3機種をラインナップ



S : 75kW, foot print 25\*21 cm  
水素発生量  
16Nm<sup>3</sup>/h(34kg/day)



M : 325kW, foot print 42\*29 cm  
水素発生量  
68Nm<sup>3</sup>/h(147kg/day)



L : 1.4MW, foot print 60\*48 cm  
水素発生量  
295Nm<sup>3</sup>/h(635kg/day)

# iGas energy (ドイツ)

風力発電と組み合わせた水素製造プラントを展開。ドイツ、インドに5基納入。

出典:会場のパンフレット

**green Electrolyzer**

## PEM-ELECTROLYZERS

### Efficient Use of Renewable Energy

**The Benefits of GREEN ELECTROLYZERS of iGas energy at a Glance:**

- HIGH EFFICIENCY OF STACKS**
  - ➔ More than 80 % (4,47 kWh/Nm<sup>3</sup> hydrogen) at 2 A/cm<sup>2</sup>
  - ➔ More than 76 % (4,71 kWh/Nm<sup>3</sup> hydrogen) at 3 A/cm<sup>2</sup>
- HIGH EFFICIENCY OF THE PLANT**
  - ➔ More than 68 % at 100 % rated power
  - ➔ More than 74 % at 50 % rated power
- WIDE RANGE OF OPERATION**
  - ➔ 10 to 100 % of the nominal load
- QUICK RESPONSE TIME**
  - ➔ Below 1 sec (within the limits of range of operation)
  - ➔ 10 sec (from stand-by-operation to nominal load)
- HIGH PRESSURE**
  - ➔ Up to 40 bar pressure directly connectable to natural gas infrastructure or to pressure-controlled processes in the industry

For generating hydrogen from electrical power PEM-electrolyzers gain more and more assets. They are able to follow fluctuating loads instantly, make use of the lower load range especially and operate very efficiently. Even more their design is extremely compact.

iGas energy supplies PEM-electrolysis modules with nominal outputs of hydrogen of 5 - 205 Nm<sup>3</sup> per hour. This corresponds to an electrical power of 25 kW to 1.3 MW. Thanks to the modular design, a coupling of GREEN ELECTROLYZERS of up to several MW is possible.

Heart of the GREEN ELECTROLYZERS are the GREEN ELECTROLYZERS are compact stacks of the latest version from Giner Inc./USA. They are characterized by a high current density of up to 3 A/cm<sup>2</sup>, that they even achieve in continuous operation. Consequently they can be adapted to almost any specific requirement of Power-to-X.



## THE SYSTEM

iGas energy supplies the plants ready to connect including a closed cooling circuit, the entire measuring and control technology and all auxiliary units.

Thanks to the PEM stacks the systems are exceptionally compact and scalable within wide limits:

For open-air use iGas energy integrates "outdoor" systems in containers. On request iGas energy integrates a gas conditioning system which is able to achieve a gas quality of 6.0.

All systems are completely installed in the factory (ready for operation) and are subjected to a thorough functional test before delivery.

	gEI 30-300 PEM MD		gEI 100-1250 PEM MD		gEI 320-1250 PEM MD	
	gEI 10-300 PEM MD	gEI 60-300 PEM MD	gEI 160-1250 PEM MD			
Nominal Active Area [cm <sup>2</sup> ]	300	300	300	1250	1250	1250
Current Density at Max. Load [A/cm <sup>2</sup> ]	3	3	3	3	3	3
Hydrogen Production [Nm <sup>3</sup> /h]	10	30	60	100	160	320
Hydrogen Pressure [bar]	40	40	40	40	40	40
Energy Consumption (System) [kWh/Nm <sup>3</sup> ]	5,4	5,2	5,2	5,4	5,4	5,3
Nominal Electrical Load [kW]	75	205	400	660	1050	2070

Other system configurations on request.

再生可能電力を用いたP2Gを想定し、水素製造量10Nm<sup>3</sup>/h~320Nm<sup>3</sup>/hのPEM水電解型水素製造ユニットを開発。水素製造量に合わせて、複数のユニットを並列設置する構成。昇圧型スタックにより、出口圧力40bar。

## H-TEC SYSTEMS (ドイツ)



水素製造システム、小型のPEM電解スタック開発。  
水素製造装置  
ME100/350:13 - 66 Nm<sup>3</sup> /h,  
ME450/1400:25-210Nm<sup>3</sup>/h  
スタック S30/10, 30, 50 (0.31-1.57Nm<sup>3</sup>/h)  
昇圧型スタックにより出口圧力20bar。

PEM水電解、 <https://www.itm-power.com/>



0.1~100MW をラインナップ  
水素生成量：45~40,000kg/day  
水素供給圧力：20bar(option 50bar)



展示品水素生成量：270kg/day



2MW PEMスタックモジュール

# SIEMENS Power to Gas(H2)



PEM水電解

<https://new.siemens.com/global/en/products/energy/renewable-energy/hydrogen-solutions.html#Portfolio>

750kWのPEM水電解型スタック

# SIEMENS Power to Gas(H2)



# SIEMENS Power to Gas(H2)



## ASAHI KASEI殿（日本） アルカリ水電解



[Dr. Bernd Althusmann](#)

**Minister of Economic Affairs, Labour, Transport and Digitalization for Low Saxony / Chairman of the Supervisory Board for Deutsche Messe AG and Niedersächsisches Handwerk**

# Hugreen Power / 韓国 (小型水素発生装置)



## 製品仕様

項目	HP-1000HGS	HP-500HGS	HP-50HGS
最大水素発生流量	Up to 15 SLPM	Up to 7 SLPM	Up to 1 SLPM
製品重量	6,500 g	6,000 g	2,000 g
システムサイズ(奥行 X 幅 X 高さ)	200 X 200 X 480 mm	195 X 195 X 460 mm	135 X 135 X 240 mm
水素供給量	3,000L H <sub>2</sub> (270 g)	3,000L H <sub>2</sub> (270 g)	600L H <sub>2</sub> (54 g)
エネルギー容量	3,330 Wh	3570 Wh	770Wh
エネルギー密度	513 Wh/kg	595 Wh/kg	385 Wh/kg
	174 Wh/L	204 Wh/L	385 Wh/L
燃料カートリッジ	CTR-3000A	CTR-3000B	CTR-600

出典: 会場のパンフレット

HP(日本語)

<http://www.hugreenpower.com/ja/products-2/hydrogen-generator/>

<http://www.hugreenpower.com/ja/technology-innovation/>

最終日 (ラップアップ)



# **参考**

## **(燃料電池, 水素製造関連 以外)**



# SIEMENS ファクトリーオートメーション



# BOSCH ファクトリーオートメーション



# FANUC ファクトリーオートメーション



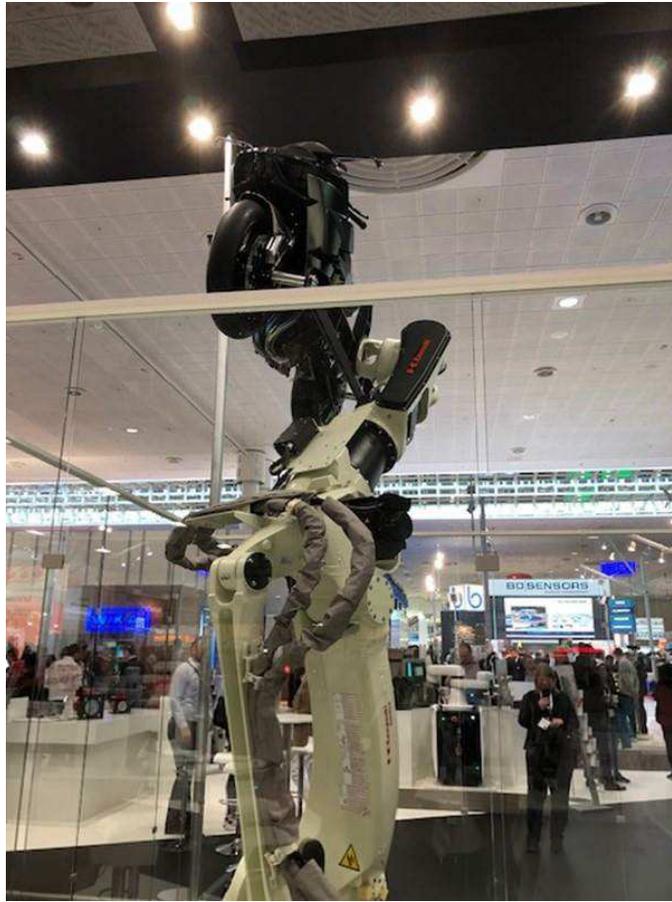
その他 ファクトリーオートメーション技術 多数出展



その他 ファクトリーオートメーション技術 多数出展

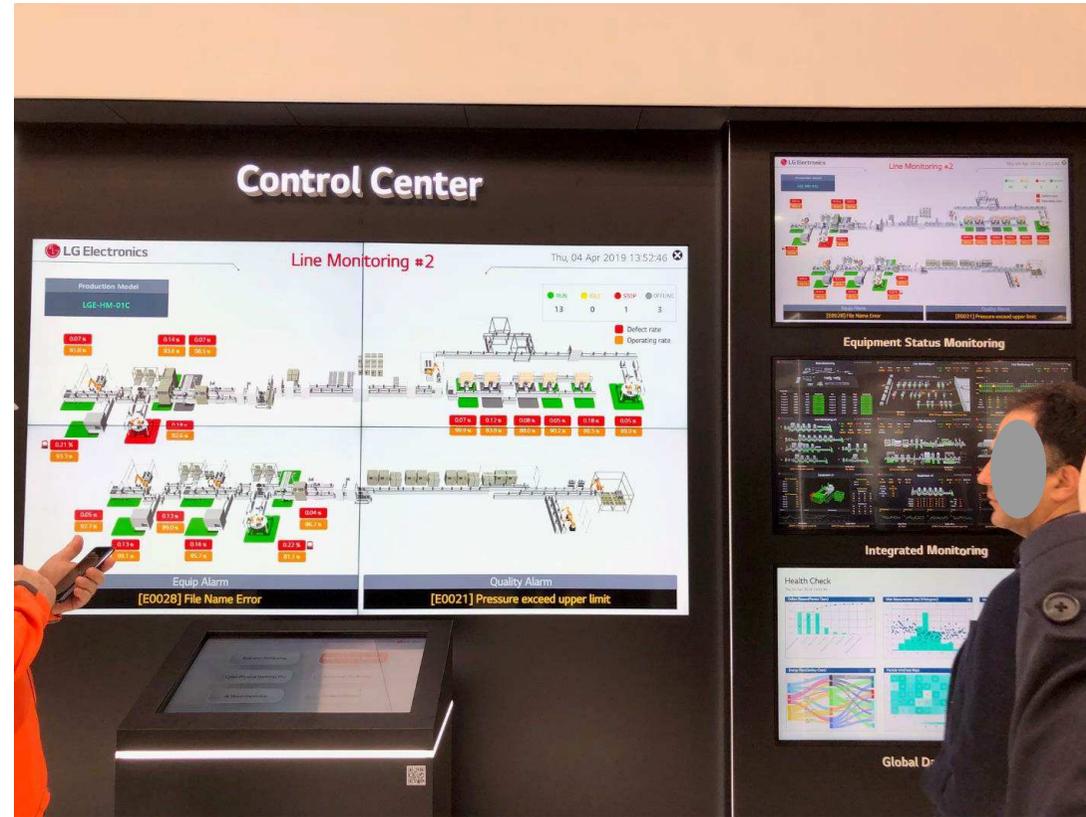


# 日本企業 ファクトリーオートメーション

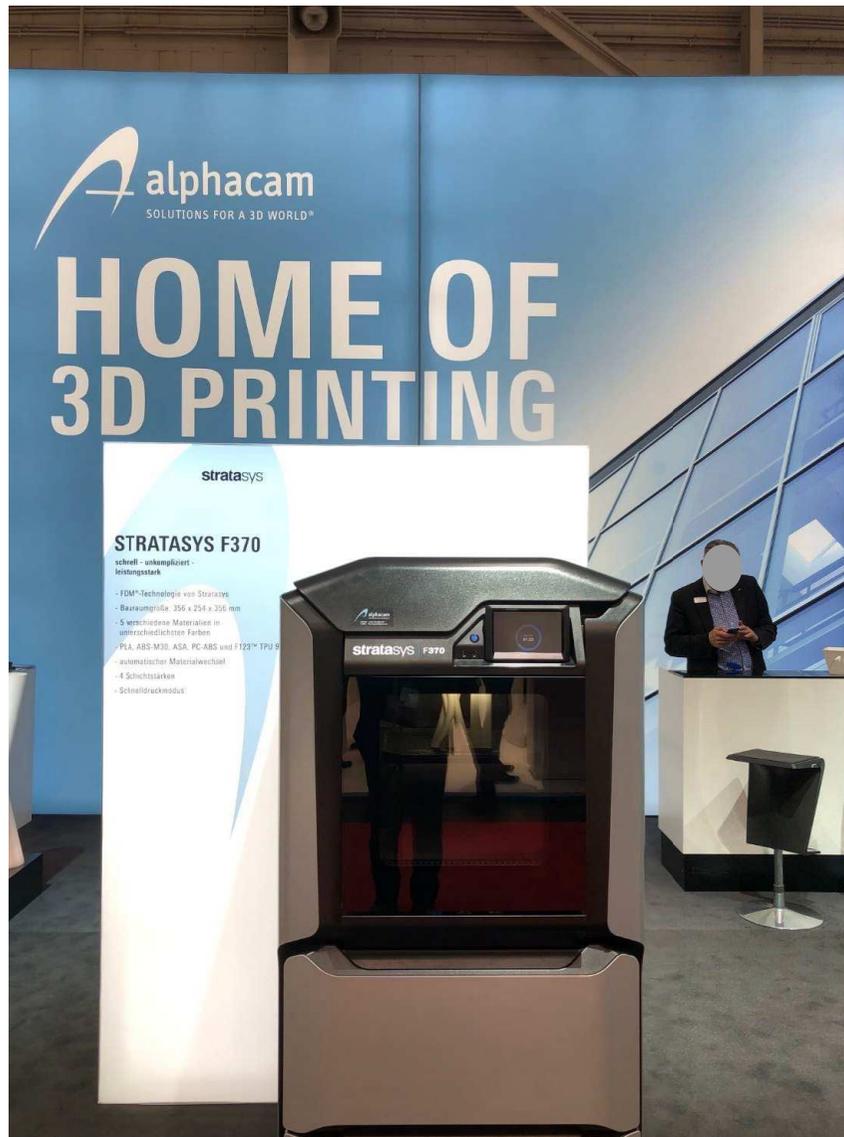




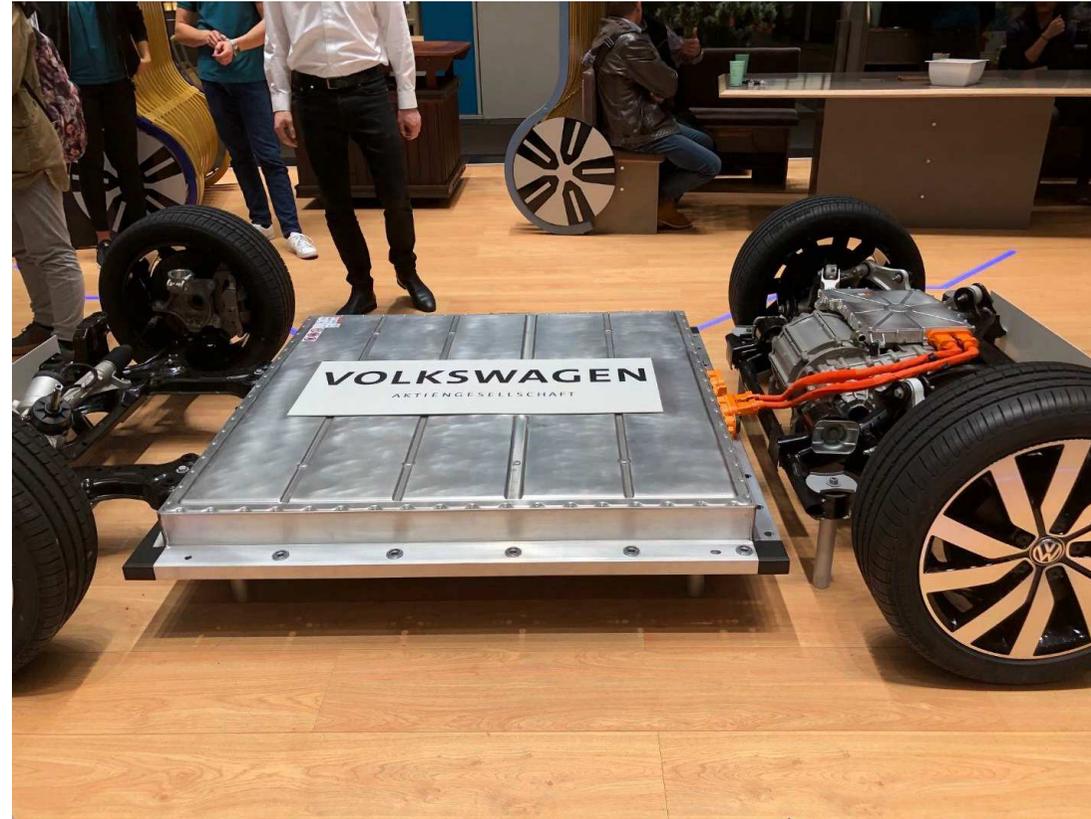
# LG ファクトリーオートメーション



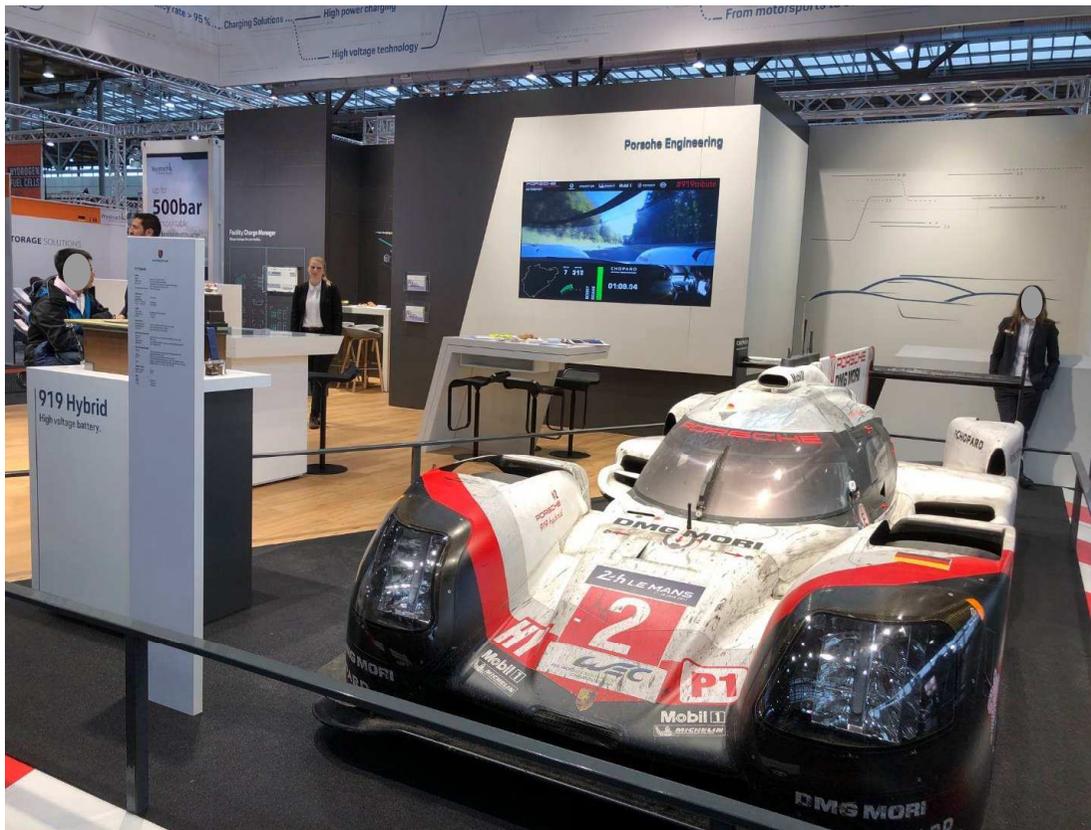
# 3Dプリンターメーカー多数出展



# 車メーカー



# 車メーカー



中国はドイツに次いで2番目に多い出展数  
※日本は82社・団体が出展



以上

添付資料2-2

2019 年度 海外出張報告書

報告書作成日 2019 年 4 月 17 日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	韓国における建機への燃料電池適用状況の調査
4. 出張者	パナソニック
5. 出張先	ソウル

6. 日程：

2019 年 4 月 17 日 (水) 関空発 ソウル到着後 ホテルにて打合せ

2019 年 4 月 18 日 (木) ソウル発—羽田経由—伊丹 帰国

7. 出張概要

7.1 出張の背景と目的

建機（特に掘削機）への燃料電池の適用検討精力的に推進している Woosuk 大学の L 教授より情報を得る。

7.2 調査概要

7.2.1

面談者：Woosuk 大学

Hydrogen Fuel Cell Regional Innovation Center センター長

L 教授

L 教授は、韓国での水素・燃料電池技術ロードマップや新規プロジェクトの推進者として活躍中  
昨年度から大きいプロジェクトを獲得しているようである

(1) 市場規模について（韓国 Construction machinery association 調べとのこと）

建機グローバル市場規模：約 186 ビリオン US ドル（約 20 兆規模）

韓国市場規模：約 10 ビリオン US ドル（約 1.1 兆円規模）

このうち韓国での掘削機市場規模：約 4.5 ビリオン US ドル（約 5000 億円規模）

韓国で製造される掘削機の約 15%は、輸出

(2) 建機の今後の市場について

韓国ではディーゼルからの微粒子、CO2 排出が大きい問題となっており、建機からの放出が大きいため、ゼロエミッション化が進むとのこと。

建機（ディーゼル車）の CO2 排出量は、オン・オフロードビークル全体の約 22%を占めている

具体的には、年間約 23.2M トンの CO2 を排出

(3) 掘削機の主力サイズ

主力サイズは、14 トンクラス

FC の電気出力は約 50kW 程度になると思われる（現在開発中の以下の試作機から試算）

（現在試作機は 2 トンクラスであり、電気出力はバッテリー7kW+FC8kW = 15kW）

(4) 掘削機の現状（韓国）

価格：10 トンクラス ～約 1700 万円

バッテリー仕様の掘削機は、韓国にはない（開発中とのこと）

使用状況：平均約 6 時間/日

(5) 掘削機の FC 化について

韓国では、国家プロジェクトとして立ち上げを検討中

FC 関連の国家プロジェクトとしては、第一号となる予定

(6) FC システム補機

水素タンク（35MPa）

加湿器

エアブロー

ポンプ

ドレイン

水タンク

エジェクター など

これらを含めて現状の掘削機のエンジンと燃料タンクのスペースと同等以下にしたいとのこと

(7) FC システムに要求される特性

- ・耐振動性
- ・耐衝撃性
- ・耐塵性

(8) 掘削機の電源構成

バッテリーと FC とのハイブリッド（現状約 50 : 50 の構成で開発中）

バッテリーは、掘削作業時の突入電流対応のために不可欠

### 7.2.2 量産セルスタックの水平展開の可能性

掘削機の FC 化は大気汚染の環境への影響低減への要求の高まりから今後進んでいくものと思われる。

しかし、市場の立ち上がりは以下の点からそれほど早くないのではないかと推測される。

- ・コスト目標の達成
- ・寿命
- ・水素供給

コンパクト化も要求されるため、エネファーム用スタックより FCV 用からのアプローチが良いだろう。

- 寿命については、明確ではなさそう。  
FCH 2 を紹介、PDF を送ることになった。
- 振動試験は独自
- 微粒子対策の性能

### 7.3 まとめ

(1) 建機への FC の適用は今後期待できると考えられるが、以下の点の確認が必要である。

- ・コスト目標の設定

現状のディーゼルエンジンタイプの建機に対してどの程度のコストアップが市場で受け入れられるか？

- ・水素供給拠点の整備

相当量の建機を保有する企業等があるか？

(2) エネファームのスタックの適用可能性

掘削機に限定した場合

ボリュームゾーンは、FC 出力 50kW クラスのスタックを必要としており、エネファームのスタックの複数台使用による対応は困難であると考えられる。

FCV 用スタックの活用が期待される。

添付資料2-3 A

2019 年度 海外出張報告書

報告書作成日 2019 年 8 月 27 日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	European Fuel Cell Forum および Intelligent Energy 社、CERES Power 社での情報収集
4. 出張者	パナソニック
5. 出張先	Luzern Congress(ルツェルン)、IE 社 (ラフポー, UK) 、CERESPOWER 社 (サザンプトン、UK)

6. 日程：

2019 年 7 月 1 日 (月) 伊丹発 チューリッヒ到着後 列車でルツェルン  
2019 年 7 月 2 日 (火) -5 日 (金) European Fuel Cell Forum (EFCF)  
2019 年 7 月 6 日 (土) チューリッヒ発—ロンドン  
2019 年 7 月 8 日 (月) Intelligent Energy 社 (IE)  
2019 年 7 月 9 日 (火) CERESPOWER 社 (CP)  
2019 年 7 月 10 日 (水) -11 日(木) ロンドン発 羽田経由 伊丹 帰国

7. 出張概要

**7.1 出張の背景と目的**

PEFC イヤーの EFCF2019 で燃料電池市場動向および研究の最新情報を得る

**7.2 調査概要**

**7.2.1 EFCF2019**

**7.2.1.1 開催概要**

参加者は、約 360 名

日本からも、九州大学 佐々木教授、横浜国立大学 太田名誉教授をはじめ企業からは、日産、

トヨタ中研、Asahi、住友電工、岩谷産業、東京ガス、住友商事、パナソニックなどからの参加者があったが、やはり欧州の参加者が圧倒的に多かった。

本調査とは直接関係はないが、IEC TC105 イタリア代表の A 教授 (Politecnico di Milano -Department of Energy) 、中国の H 教授も参加しており意見交換ができた。

今年は、PEFC を中心とした構成であり、2 セッションでの発表が並行して実施され、ポスターセッションも併設。

各セッションは、それぞれ基調講演を含む General な発表と純研究発表で構成されていた。

展示については、非常に小規模であり特に注目すべき内容はなかった。



A会場 Generalな発表

会場には、ヒョンダイの新しいFCVが展示されていた。



B会場 研究発表



7月2日は、レジストレーション後ウェルカムドリンクがあり参加者間の交流ができた。

包括的な発表（主に A 会場）を報告する。学術的な発表（主に B 会場）は報告書 2-3B にて報告する。

#### 7.2.1.2 A 会場の発表（注目すべき発表）

A 会場での発表は、Key Note 講演を含めほとんど講演資料の配付はなく、さらに写真撮影禁止（これは B 会場も同様）との厳しい条件があり、プロジェクターによる発表のみであった。このため内容の詳細な報告はできない。

#### A0201 「Opportunities and Challenges of a Hydrogen Infrastructure」

Dr. Stolten (Juelich Research Center, ドイツ)

◇欧州におけるエネルギー政策とその背景について

- ・欧州での水素の内 約 6 TWh 分は輸入であり、約 5 TWh 分が水電解等で製造されている。
- ・風力発電による電力コストは、グローバルにはパタゴニアでの風力発電コストが最も安価であり、

約 3 ユーロ/kg との試算がされている。(アイスランドも安価とのこと)。  
・水素インフラとして、12,000km のパイプライン。

◇FCEV、BEV の普及時のインフラコストの比較

2,000 万台普及時のそれぞれのインフラコストを比較

FCEV 41 ビリオンユーロ

BEV 51 ビリオンユーロ

→FCEV にインフラコストメリットありと結論付けている。

◇電力グリッドとガスグリッドの整備・メンテナンス

電気グリッドはメンテナンスコストが高く、結果的にはガスグリッドの、2～2.5 倍のコストがかかるとの結果を示していた。

A0205 「Pathing the ways for Europe's Hydrogen Economy」

Jorgo Chatzimarkakis 氏 (Hydrogen Europe, Brussels/Belgium)

電気エネルギーインフラについて

◇電力インフラ整備の難しさについて

ドイツでは、約 10 年前に電力網の整備目標を約 7,700km と設定して進めてきたが、現在約 950km レベルにとどまっている。

→電力網の整備が難しいことを物語っているとのこと。

一方ガスパイプラインの活用(水素を 10%程度導入)は、既設のガスパイプラインが十分に整備されているため有効である。

また、水素パイプラインの構想も進んでいる。(アフリカからの輸送も考えているとのこと)

ポリエチレン系の水素パイプライン(カーボンファイバーライニングで 200bar 耐圧)も検討中。

◇これらをサポートするものとして

・RE 指令 2

・2020 年～2021 年に発行するガス規制

を挙げている。

◇その他、中国が水素燃料電池を加速している

また演者はヒュンダイの FCEV を高く評価し、欧州の遅れを批判。

A0404 および A0405

「Daimler's perspective on alternative propulsion systems and the new Mercedes GLC F-CELL」 Jörg Wind 氏 (Daimler AG)

◇ダイムラーの次世代燃料電池パワートレインは、13.5kW の大型バッテリーを有する。

燃料電池エンジンは、約 30%を担当。

これは、メルセデスの B クラスと考えられる。

◇中国では、水素インフラ整備が加速しており、次は FC バス（2022 年）と述べていた。

「Overview of Fuel Cell Range Extender Development at FEV China」

Ernst Scheid 氏（FEV Group GmbH、ドイツ）、FEV Powertrain Technology Co.,  
中国と共同発表。

### 7.2.1.2 主に B 会場の研究発表（注目すべき発表）

学術発表の中で注目される発表および海外の研究レベルを知る上で需要と思われる発表について記載する。

(1)

B1403 (later Abstract only, published elsewhere)

## Ioinc Liquid Modified CoNC Electrocatalyst for Proton Exchange Membrane Fuel Cells

Min Wang (1,2), Huixin Zhang (1), Sichun Mu (2), Xiaochao Ji (3), Ihtasham Hammy Salam (4), John Varcoe (4), Shangfeng Du (1)\*

(1) School of Chemical Engineering, University of Birmingham, UK

(2) State Key Laboratory of Advanced Technology for Materials Synthesis and Processing, Wuhan University of Technology, China

(3) School of Metallurgy and Materials, University of Birmingham, UK

(4) Department of Chemistry, University of Surrey, UK

Tel.: +44-21-415-8696

バーミンガム大学、サリー大学および武漢大学の共同研究

炭化して Co と N 原子をドーピングした微孔性炭素担体を非貴金属触媒として用い、この細孔内を疎水性非プロトン性イオン液体で修飾することで、非貴金属触媒の活性向上を目指した研究である。

その結果、白金触媒には及ばないものの、ある程度の活性が得られている。

#### 【考察】

水あるいはアイオノマーとイオン液体との界面で、プロトンがスムーズに移動できるのか？、水が発生する PEM の中でイオン液体が流出しないのか？などの疑問が生じるが、最近注目されている同志社大学の稲葉研究室での Pt 触媒を有機物で被覆し、水との接触を

(図面を削除しました。)

抑制することで高性能化を目指す取り組み似たアイデアではないかとも思われる。これに関連する取り組みとして、上記の疑問が解決できれば注目に値するのではないかと考える。

(2)

B0502 (later Abstract only, published elsewhere)

### **Optimization of Pt Loading on Nanoporous Carbon Scaffolds for Use as a PEMFC Cathode Catalyst Layer**

**Marwa Atwa, Xiaolan Li, F. Forouzandeh, Samantha Luong, Erwan Bertin, M.J. Parnian, Kunal Karan, Viola Birss**  
Department of Chemistry, University of Calgary  
2500 University Drive NW, Calgary, AB, Canada T2N 1N4  
Tel.: +1-403-220-6432  
Fax: +1-403-289-9488

カナダ カルガリー大学での研究

新規の自己支持型ナノ多孔質炭素担体 (Nanoporous Carbon Scaffolds) を開発し、当該担体の細孔径や細孔表面積と性能の関係を研究している。Pt 担持量を規格化した場合、細孔径が小さいほど高性能を示している。

表面修飾の効果に関しては、スルホン化の効果が最も大きい。



(図面を削除しました。)

#### **【考察】**

細孔表面積が大きくなるほど、酸化耐性が劣る傾向にあると思われるが、残念ながらこの担体の耐久性に関する言及がない。

しかしながら、もし耐久性が高ければ面白いかもしれない。

**B0503** (Mesoporous N-doped Carbon as Stable Pt Catalyst Support for the Oxygen Reduction Reaction) についてもウォッチングすべきかもしれない。

(3)

B0501 (later Abstract only, published elsewhere)

## Engineering Atomic Diffusion in Pt Alloy Nanoparticles Towards Highly Active and Stable ORR Electrocatalysts

Zhongxiang Wang, Yangbo Ma, Xiaozhang Yao, Fei Qin, Lin Gan

Division of Energy and Environment, Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University,  
Shenzhen 518055, PR China  
Tel.: +86-755-26032622

中国からの発表

Pt 系の合金触媒は、合金化する際の熱アニールが必要であるが、これによって触媒粒子が粒成長する。本研究は、アニールの際の原子拡散を理解するための研究である。

PtM<sub>3</sub> (M = Fe, Co, Ni) についてアニール温度と結晶構造・構造が秩序構造をとっているかについて調べ、構造の秩序化および粒子焼結挙動が異なることを明らかにしている。

次いで、構造が規則化した PtCo<sub>3</sub> 触媒の電位サイクル試験を実施したところ、すべての無秩序 PtM<sub>3</sub> 触媒よりも安定した挙動を確認している。このため規則化した金属の結晶構造が耐久性向上に資すると考察している。

分析結果等のデータはプロシーディングを参照のこと

【考察】

規則化した結晶構造の合金触媒のほうが耐久性に優れるという結果は想定される範囲であるが、実証した例は少ないかもしれない。

粒成長させずに規則化する手法の開発が望まれるということになる。

(4)

A0805 (later Abstract only, published elsewhere)

## Carbon Nanotube-Filled Polymer Composites for Direct Injection Molding of Bipolar Plates

Nicholas A. Chiappazzi (1), Jangik Jin (1), Brian A. Young (2),

Jonathan Young (3), Anthony D. Santamaria (3), Adam S. Hollinger (1)

(1) Department of Mechanical Engineering, Penn State Behrend, Erie, PA/USA

(2) Department of Plastics Engineering Technology, Penn State Behrend, Erie, PA/USA

(3) Department of Mechanical Engineering, Western New England University,  
Springfield, MA/USA

Tel.: +1-814-898-6305; Fax: +1-814-898-7026

欧米ではよく見られる大学による生産技術（カーボンセパレーターの射出成形）の研究（開発？）発表である

本研究は、米国ペンシルバニア州立大学エリー校のものである。

カーボンセパレーターの射出成形による製造方法の検討。カーボンセパレーターの更なる低コスト化にむけては、射出成形が候補として考えられる。しかしながら、導電性を向上させるためには、カーボンの充填率を上げる必要がある。カーボンの充填率を上げると、樹脂の流動性が悪くなるため、導電性と成形性はトレードオフの関係にある。

(図面を削除しました。)

#### 【考察】

本報でも射出可能なカーボン充填率の閾値が 25wt%と報告されており、25wt%のカーボン量では十分な導電性は得られないものと思われる。カーボンナノチューブの添加により上図のように導電性効果を報告しているがコストは大幅なコストアップになると思われ、射出成形するコストメリットが見いだせるのか不明である。

欧米では、生産技術に関する研究を大学で実施する例があるが、やはり現場に密着した生産技術部門が開発するべきではないかと考える。

(5)

A1001 (later Abstract only, published elsewhere)

## Potentials and Limits of Evaporative Cooling for Polymer Electrolyte Fuel Cells

**Michael Striednig (1), Magali Cochet (1), Pierre Boillat (1,2),  
Thomas J. Schmidt (1,3), Felix N. Büchi (1)**

(1) Electrochemistry Laboratory, Paul Scherrer Institut

(2) Laboratory for Neutron Scattering and Imaging, Paul Scherrer Institut  
Forschungsstrasse 111, CH-5232 Villigen PSI, Switzerland

(3) Laboratory of Physical Chemistry, ETH Zürich

Vladimir-Prelog Weg 1-5/10, CH-8093 Zürich, Switzerland

Tel.: +41 56 310 29 03

スイス パウル シェラー研究所による研究

後述する、Intelligent Energy 社（IE）が採用している PEFC スタックの蒸発潜熱による冷却方式である。

PEFC の冷却に、冷却水循環によってセパレーターを冷却するのではなく、アノード流路に直接水を供給し潜熱冷却する。

これによりシステム全体のコストを 30%削減するとしている。

これは、IE 社の狙いと  
同じである。



（図面を削除しました。）



（図面を削除しました。）

#### 【考察】

水の潜熱による直接冷却は、供給する水の純度が通常の冷却水よりも、より高純度が求められる。

また潜熱冷却するのでコジェネ用途に使用する場合は熱が得られないというデメリットもある。

制御も複雑化すると思われるが、IE 社のように 20kW 以上のエンジンとして使用することを目的とすればシステム構成の簡略化は魅力でもある。 信頼性がどのレベルなのかが知りたいところではあるが。

## 7.2.2 Intelligent Energy(IE)社

訪問日時：2019/07/08 13:00-15:30

訪問場所：IE 社

(ラフボー駅からタクシーで約 15 分 ラフボー大学内 Charnwood Building 内)

Charnwood Building には、BSI,DNV/GL などの認証機関や 12 社ほどのベンチャー企業が入っていた。

面談者；CTO Dr. C. D.

CSO Dr. L. J.

Head of Fuel Cell R&D Dr. Simon Foster

### 7.2.2.1 IE 社の概要

- ・所在：ラフボー UK
- ・従業員数：約 160 名 来年度 200 名体制
- ・PEFC 技術に特化
- ・1998 年にラフボー大学からスピアウトしたメンバーを中心にラフボー大学内の Innovation Centre 内に設立され、 今日まで UK の PEFC 開発を代表するベンチャー企業



### 7.2.2.2 事業概要

- ・スタックでの販売はせず、スタックモジュールの製造販売
- ・製品ラインアップは、空冷タイプと水冷タイプを以下のプラットフォームをベースとして展開
- ・USA,インド、日本オフィスがありに、それぞれに 3 名、1 名,1 名が駐在
- ・中国は、技術流出の恐れと中国パートナーには中国政府の関与が強いため慎重に検討中

### 7.2.2.2 事業概要

#### ① 800W および 2.4kW の空冷タイプ

空冷タイプは、メタルセパレーターを使用

基本モデルと小型軽量タイプ（材質等の変更等により）

これらの基本モジュールの複数台接合により、～10kW クラスの用途へ展開している。

(図面を削除しました。)

本基本モデルにより、電気出力 650W、1.2kW、2.4kW および 4kW のスタックを製品ラインアップしている

生産能力：スタック/約 45 分とのことであり、最大約 30 スタック/日

#### 【用途例】

##### i) ドローン

現在最も力を入れている用途は、ドローン用途（バッテリーより長飛行距離化への要望が大とのこと）

オンショア風力発電（5 マイル先の）の監視などへの適用も具体的になってきている。

週末に福島でデモ飛行を行う予定とのこと。

一般モデルでは、300bar の水素タンクを使用している。

MetaVista 社と共同で液化水素 6L(水素 399g)

800W スタックを用いたドローンで、2019 年 4 月 3 日に韓国において 12 時間 7 分 22 秒の飛行を達成。

（左図 下のタンクに液化水素が貯蔵されている）

MetaVista 社は、液化水素技術とソフトウェアを有する韓国企業。

(図面を削除しました。)

情報ソースによって大きく異なるが、

- ・Markets and Markets, Feb 2018 : 2025 年までに 5230 億ドルに達する
- ・Research and Markets, Feb 2018 : 2025 年までに 518 億 5000 ドル
- ・Tractica, Feb 2019 : 2025 年の商業用ドローン収入 1260 億ドル
- ・BIS Research, June 2019 : 2018 年の市場規模は、256 億ドル

ドローンへの適用については、別途プレゼン資料を入手したので提供予定です。

**ii) Light tower (工事現場等の LED 照明) 用可搬形**

Stephill Generators 社に供給 (2019 年 6 月)

300bar の水素タンク (タイプ 3) を使用しているが、300US ドル程度で購入できるとのこと。

**iii) スクーター用途 (4kW 出力で、小型バッテリーとの組み合わせ)**

スズキ、CENEX (ラフポーに設立された低排出ガス自動車研究コンサルタント) と共同実施し、UK の警察用スクーター 6 台のフリート走行を実施。

**iv) 小型フォークリフト**

**iv) ポータブル発電機**

**v) その他**

データセンター用バックアップ電源

AJC EasyCabin への電源供給

(移動型の簡易キャビンで使用用途は、福祉用途が主であるが、特に限定されていない)

**② 20kW〜クラス**

水冷タイプであるが、Evaporated cooling 技術を進化させ、一般的な水循環・ラジエーター方式ではない。

特徴は、補機がシンプルとなりトータルコストおよびサイズが最小化できるとしている。

本技術は、他にも UTC 社、NUVERA 社などが開発しているということであるが、IE 社は 2004 年から開発を進めているとのこと。

## 30kW、60kW、100kW スタックの製品ライン

(図面を削除しました。)

気化方式のスタックは、上記のように補機部品（スタック冷却プレート、加湿器など）が削減できるため、コンパクト化およびコストダウンに有効であるとのこと

### 【用途例】

ディーゼルエンジンの置き換え市場

ロンドンタクシー

30kW モジュール（324 セルで構成）



### 【プロジェクトの例】

UK 内：ロンドンタクシー（30kW）で実証試験を実施（209 年～2015 年）現在も使用されているとのこと

FCH JU：現在 3 つのプロジェクトに参画中

スタックの量産機の開発等

EU 離脱後の行方は不明とのこと

### 【まとめ】

スタックモジュールでの事業であり、小型と中型の 2 つのプラットホームスタックに集中した開発を行っており、小型は空冷、中型は水冷と絞っている。

いずれのスタックも、IE 社ならではの技術を盛り込んだモノとなっている。

現時点では、小型スタックモジュールの方が先行しているようであり、信頼性も確保されていると見られる。

中型の Evaporated cooling スタックは完全に自立できるとしているが、今後情報の継続的な入手が必要であろう。

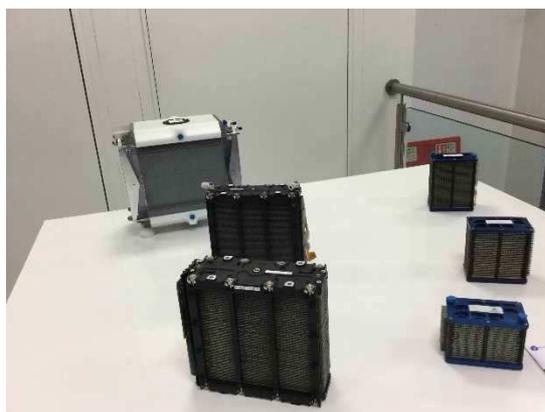
一方、市場展開については、基本スタックで対応できる市場に提供していくので顧客対応的な動きになっており、プラットホームスタックの決定段階でどの程度のマーケティングの結果をベースにしているかは不明である。

しかし、IE 社は 20 年近く、定置用も含め燃料電池市場の情報の蓄積も豊富であろうと思われるので、800W と 2.4kW 空冷スタックおよび 20kW 水冷スタックをベースにしていることは用途展開上、リーズナブルであると判断する。

10 数年前に訪問したことがあるが、当時は 30 名ほどで開発ファシリティーも小規模であったが、着実に拡大しており、グローバルな視点でも PEFC スタックメーカーとしては、カナダのバラード・システムズ、ハイドロジェニックス社と肩を並べる企業であろう。

IE 社は、バラード社の経営の長短所を見ながら慎重な取り組みを行っているようである。

(図面を削除しました。)



エントランスに展示されていたスタック

### 7.2.3 CERESPOWER 社

訪問日時：2019/07/09 10:00-13:30

訪問場所：CERESPOWER 社（ロンドンの南西部 ホーシャム駅から徒歩 10 分）

CERESPOWER 社単独の建物

面談者：CEO / Mr. P. C.

Director of Customer Programmers / Mr. B. D.

Director of Advanced Engineering / J. H.

上記 2 名は、IE 社より転職

#### 7.2.2.1 IE 社の概要

従業員数：約 200 名

現在量産棟の拡張を計画しており、現在の C1 棟に加えて新たに C2 棟（量産棟）を建設することが決まっているとのこと。これにともない従業員の増員も計画中的とのことであった。



コアコンピタンスは、SOFC スタックであるが、システムもカバーしており、たとえばスタックモジュールは CERESPOWER 社より販売し、システム化についてはライセンス供与を行う場合もあるとのこと。

#### 7.2.2.2 技術開発状況

CERESPOWER 社は、メタルサポート SOFC の開発企業として注目を集めている。

インペリアル大学の技術からスタートしている

今回は、工場内もほぼすべて見学できた。

SOFC セルは、メタルプレート上にスクリーン印刷によって各層を印刷・焼成を繰り返して製造しており材質そのものにも特徴があるが、印刷用に調製したペーストにノウハウがあるとしている。

現時点では、セルスタック提供先には分解禁止の条項を含めた契約を締結しているとのこと。

工場内は、印刷・乾燥工程までは上着・帽子の着用等を行っているがクリーン度はさほど高くないように思われる。

量産時の歩留まり向上には今後本工程へのメスを入れる必要があるかもしれない。

焼結は、電気式バッチ炉が主であるが、連続炉も準備していた。

セルスタックの信頼性の確保が今後重要になってくると思われる。

スタックの信頼性評価のスタンドが 8 台ほど並んでいたが、表示されている運転温度はすべて 610℃であった。

次ページにシステムの劣化評価の結果を掲載する。

本評価は、連続運転時の劣化評価であるが、起動停止時の劣化についても評価している。

これは、レンジエクステンダー用途への展開を視野に入れた評価である。

Steady state degradation at <0.2%

(図面を削除しました。)

参考: <https://www.netl.doe.gov/sites/default/files/netl-file/FE14-Vesely-2018.pdf>

下図は、レンジエクステンダー用途への適用を考えたスタックモジュールでの起動停止寿命の評価結果である。

作動温度（約 600℃）から 200℃（この温度以下への冷却に時間がかかるためここまでの冷却とされているとのこと）までの停止・起動（それぞれ約 15 分/約 15 分）の繰り返し試験  
約 200 回では電圧の低下は見られない。

(図面を削除しました。)

【協業先と開発例】

- WEICHAI : 電動バス（レンジエクステンダーとしての使用）と定置用電源
- BOSCH : 製造のスケールアップについての協業およびデータセンターへの商業化
- Cummins/DOE : データセンター用の電源

Cummins は、USA のディーゼルエンジンメーカー

- ・三浦工業 : 定置用 CHP の商業化スケールアップ
- ・ホンダ : 定置用電源



(図面を削除しました。)



(図面を削除しました。)

添付資料2-5

2019年度 海外出張報告書

報告書作成日 2020年1月12日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	European Fuel Cell2019, CEA, IEA TPC Annex33 および Nedstack 社での情報収集
4. 出張者	パナソニック
5. 出張先	CEA (グルノーブル FR)、EFC2019、Annex33 (ナポリ IT)、Nedstack 社 (アルンヘム NE)

6. 日程:

2019年12月3日(火) 伊丹発 リオン到着後 バスでグルノーブル  
2019年12月4日(水) リオン到着後 バスでグルノーブル  
2019年12月5-6日(木、金) CEA および移動用パワーパック標準化会議  
2019年12月7日(土) ナポリに移動  
2019年12月8日(日) EFC2019 Registration  
2019年12月9-10日(月、火) EFC2019  
2019年12月11日(水) IEA TPC Annex33 (報告書資料4-1参照)  
2019年12月12日(木) アムステルダムに移動  
2019年12月13日(金) Nedstack 社  
2019年12月14-15日(土、日) アムステルダム発 ミュンヘン、羽田経由 伊丹 帰国

7. 出張概要

**7.1 出張の背景と目的**

燃料電池市場動向および研究等の最新情報を得る

**7.2 調査概要**

**7.2.1 CEA および WG6 会議**

7.2.1.1 CEA 情報 20191206

FCH JU の R&D の CEO で CEA Liten の A. L. 氏と面談し、以下の情報を得た。

(1)FCH JU での進捗状況

2019年11月に Stakeholder Forum の開催に先駆けて 2018年度の成果報告書が発行されている。

その中からいくつかの成果と今後の目標について紹介があった。

(i) PEFC スタックの Pt 担持量およびパワー密度

下図に示されるように Pt 担持量は、2017 年時点で平均 0.3g/kW 平方センチ当たりの出力は、2017 年時点で 1.13W/cm<sup>2</sup>と報告されており、こちらについては年度の目標を超える成果が得られたとしている。

(図面を削除しました。)

<https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH%202020JU%20Annual%20Activity%20Report%202018%20-%20%28ID%206079970%29.pdf>

下図は、スタック性能をまとめたものである。SoA は現状値であり、FCH JU のプロジェクトである VOLUMETRIQ と INSPIRE (Integration of Novel Stack Components for Performance, Improved DuRability and LowEr Cost) の 2019 年度達成成果を示している。

(図面を削除しました。)

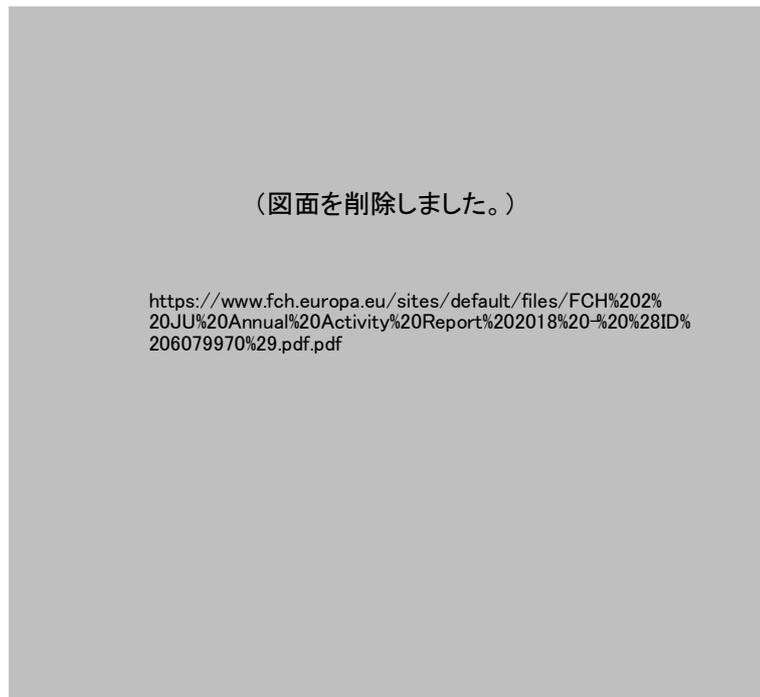
<https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/00.Pietro%20Caloprisco%20%28ID%207380835%29.pdf>

なお VOLUMETRIQ プロジェクトおよび INSPIRE プロジェクトは、FCH JU Best success story award を受賞しているとのことである。

下図は、燃料電池 CHP の実証プロジェクトである SOFTPACT (2011-2015)、ene・field (2012-2017) および PACE (2016-2021) でこれまでに導入された燃料電池 CHP の累積台数である。

ドイツが 3000 台以上でトップ、ついでベルギーが 1001～2000 台、UK、フランス、イタリアがそれぞれ 401～1000 台、オーストリアとオランダがそれぞれ 201～400 台、スイスとデンマークがそれぞれ 71～200 台となっている。

Graph 1.2.3: Mapping of mCHP deployment across Europe



## (2) CEA での燃料電池の開発状況および見学

CEA で、燃料電池の開発を 15 年に亘り実施中

今回は、CEA での燃料電池の開発現場の見学をすることが出来た。

残念ながら CEA の敷地内全般が、写真撮影は一切禁止されているため映像での報告は出来ない。

研究開発は、いくつかの建物に分かれており、MEA、バイポーラプレート、PEFC スタックに加え SOFC スタックモジュールおよび Li バッテリーも開発している。

### (i) MEA

スクリーンプリンティング→バーニング→レーザーカッティング

Kangoo 用 20～25cm × 15cm 程度のサイズ

80 MEA/日程度の生産

販売はせず、欧州プロジェクト用に提供

### (ii) スタック

100kW の最新のスタック

メタルセパレーター

Power density は、4kW/L と非常に高い値を得ているとのことである。  
セパレーターの外見は、非常に薄くペラペラと波打ったように見えた。

(iii) バッテリー製造ライン

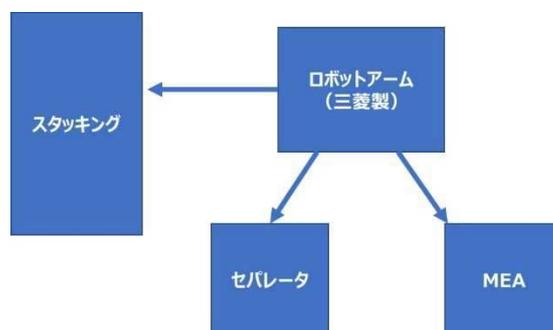
設備は一式あり

250kW 級のバッテリーが最大

電池用として 2~3MWh/月が生産可能

(iv) スタックの自動製造

以下に示したレイアウトの自動化設備を製作してスタックを製造



三菱製のロボットアームを使用し、セパレーター、MEA の順に左のスタッキングエリアに移送し自動でスタッキングを行うようである。（実際には動いていなかった）

### 7.2.1.2 WG6 会議

用途として主に建機を対象とした動力用の燃料電池とバッテリーのハイブリッド（パワーパック）の性能試験法を開発している IEC TC105 の活動状況を調査した。

建機用燃料電池スタックの出力サイズは、10 キ kW 前後の小形から 100kW クラスの大形まで広範囲であるが、小形については、エネファームのスタック技術が利用できる可能性はある。

参加した会議の議論を通して、建機に用いるスタックにはコンパクトネスに加えて特に高い耐振動性能および耐粉塵性能が求められることがわかった。

エネファーム用スタックは、カーボンセパレーターを使用しているので、特に耐振動性の評価が重要であると思われる。耐粉塵性の確保には、カソードの空気取り入れ口にフィルターの設定が不可欠と考えられるが、スタック自体に改良を加える必要はないと判断。

## 7.2.2 EFC2019

### 7.2.1.1 開催概要

参加者は、約 300 名

日本からも、横浜国立大学、京都大学、NEDO をはじめ

弘前大学、電中研、東京ガスなどからの参加者があったが、やはりイタリアの参加者が多かった。本調査とは直接関係はないが、主催者は ENEA の Moreno 氏で IEC TC105 イタリア代表の Alessandro 教授（Politecnico di Milano -Department of Energy）も参加しており意見交換ができた。

2 日間は午前中が基調講演で午後が、5 セッションでの発表が並行して実施され、ポスターセッションも併設。

各セッションは、それぞれ基調講演を含む General な発表と研究開発の発表で構成されていた。展示については、非常に小規模であり特に注目すべき内容はなかった。



（会場写真を削除しました。）

#### 7.2.1.2 基調講演より

##### (1) Alstom （Michele Viale 氏）

2050 年の欧州脱炭素化に向けた取り組みでのトレインの FC による電動化についての発表。その中で、右図で欧州での環境負荷の低減における地球温暖化防止のみならず大気汚染への取り組みの重要性が明確に語られた。

欧州において、交通手段全体におけるトレインからの CO2 排出量は 4.2%に当たる。このような背景で欧州では、FC トレインの開発に力を入れている。

詳細は、別添のプロシーディングを参照のこと



（図面を削除しました。）

(2) 欧州 Horizon Europe プログラムにおける水素 (Martyn Chamberlain 氏)

Horizon2020 から Horizon Europe に進化し、13parts から 6 つのクラスター (Health、Culture, Civil, Digital,Climate と Energy&Mobility,Food などの) に整理された。

Climate と Energy&Mobility として結合された理由は、気候変動がエネルギーと交通セクターへ



の脱炭素を強く求めているためである。

上記の分野ごとに総額 15 ビリオンユーロの予算で活動するようである。

(3) Hydrogen and Fuel Cell Value Chains(David Hart 氏 E4tech)

E4tech は、再生可能エネルギー、交通システムにフォーカシングした技術情報、事業戦略やマーケット情報等を提供するコンサルティング会社

プレゼンでは、FCH JU の活動で得られた各種移動体および定置用の市場動向情報や、さらには部品、材料レベルでのサプライチェーンなどのまとめを紹介

詳細は、別添のプロシーディングを参照のこと

(4) FCH-JU creating a value chain for today's and future hydrogen technologies(Bart Biebuyck 氏)

下図のように FCH JU の活動全般についての紹介があったが、ナポリでの開催であることを受けて、特にイタリアでの活動についての紹介もあった。



イタリアにおける研究開発の拠点は、Politecnico ミラノおよびトリノである。

イタリア全土で 2008 年から 2018 年の期間に、

- ・11 FC バスが実証を行っており（ミラノ 3 台、ボルツァーノ 5 台、サンレモ 3 台）
- ・11FCV がボルツァーノ
- ・水素ステーションは、サンレモ 1 カ所、ミラノ 1 カ所
- ・CHP システムがメッシーナに 1 台
- ・マイクロ CHP が ene.field/PACE の活動として 92 台設置（主に北イタリア）
- ・定置用オフグリッドユニットが 13 台
- ・水電解装置が 5 台

展開されている。

水電解では、製鉄工場で 6MW、化学工場で 10MW 級の設備の紹介があった。

定置用については、1 kW～2MW 級にいたるコージェネレーションシステムの紹介があり、水素社会に向けては出力の大形化も期待されているようである。

#### (5) Moving California Forward

(Cory Shumaker 氏 CHBC:California HydrogenBusiness Council)

カリフォルニア州での水素・燃料電池への取組みを紹介

下図のスライドを用いて 2030 年に向けての目標を紹介

北米での水素・燃料電池の普及に対するイニシアティブを取っていることを強調

また、FCV の普及のため 2030 年に 1000HRS の整備を目標としている。

(図面を削除しました。)

カリフォルニア州では、特に港湾を中心とした Heavy Duty プロジェクトが推進されており  
2 台のヤードトラック  
10 台の FC トラック  
1 カ所の HRS  
が稼働しているとのことである。

- (6) カナダにおける水素の開発 (Paula Vieria 氏 Natural Resources Canada)  
カナダにおける水素の開発状況および今後の展開についての紹介があった。  
詳細は、別添のプロシーディングを参照のこと

### 7.2.3 IEA AFC Annex33

チエアーが、Ridell 氏のリタイアメントに伴い、ENEA (ナポリ) の Viviana Cigolotto 氏が就任し  
Annex33 会議が再開された。

今回参加者は、従来からかなり変わっていた。

今回の参加者は、以下の通りである。

従来は年 2 回 (春と秋) に開催されていたが、原則年一回となり、燃料電池関連のイベントもし  
くは他 Annex とのジョイントによる開催としたいとの旨の表明があった。

Annex33 の各 TASK と主担当国が以下の通りに決定された。

以下に詳細な審議内容を記載する。

1. 各 Annex の Operating Agents について  
各 Annex の Operating Agent の紹介があった  
Annex 30: Electrolysis /ドイツ

Annex 31: PEFC	/米国
Annex 32: SOFC	/フィンランド
Annex 33: Stationary	/イタリア
Annex 34: Transport	/米国
Annex 35: Portable	/イタリア
Annex 36: Systems Analysis	/米国とドイツ
Annex 37: Modeling	/ドイツ

## 2. Annex33 体制案

### Subtask とリーダー国

Subtask 1 小形定置用	/ 日本
Subtask 2 新指令と規定について	/ オーストリア
Subtask 3 大形定置用	/韓国
Subtask 4 将来のエネルギーシステムにおける燃料電池/スイス (Stephan Renz)	

## 3. Annex33 運営案

原則年 1 回の開催とし関連イベントもしくは関連 Annex とジョイント開催とする。

2020 年度 : EFCF2020 および Annex32 とのジョイント開催 (2020 年 7 月 ルツェルン)

2021 年度案 : FC エキスポにジョイント (2021 年 2 月末) を候補とする

## 4. 現時点で日本の参加企業は以下の通り

パナソニック、アイシン精機、東芝

## 5. 今回の発表内容

- (1)パナソニック : 日本の定置用燃料電池の開発状況 (NEDO 資料) とパナソニックの活動状況について (橋本より紹介)
- (2)SOLID POWER 社 : 欧州での PACE プロジェクトでの活動状況について
- (3)Austrian Energy Agency : 欧州各国における EU 指令への対応の現状と今後について
- (4)Stephan Renz 氏より : グローバル市場における大形定置用燃料電池の現状について
- (5)FBK Luigi Crema 氏 : 欧州プロジェクト CH2P プロジェクトと SWITCH プロジェクトについて
- (6)その他

今回は、EFC2019 にジョイントしていたこともあり、これまでの Annex33 会議に較べて参加者も多く、盛況であった。

ドイツ、スペイン、USA およびカリフォルニアからの参加者より各地域での活動状況の報告もあった。

議事録は、添付する。

### 7.2.4 Nedstack 社

訪問日時 : 2019/12/13 (金) 10:00-14:00

訪問場所 : Nedstack 社

(アルンヘム駅からタクシーで約 15 分 )

#### 7.2.4.1 Nedstack 社の概要

- ・所在 : Westervoortsedijk 73 627 AV Arnhem, Netherland
- ・従業員数 : 約 50 名
- ・PEFC スタックメーカー
- ・1998 年に 塩素製造時の副生水素利用を狙い PEFC 開発開始  
オランダ、欧州の PEFC 開発を代表するベンチャー企業

#### 7.2.4.2 事業概要

- ・スタックでの販売はせず、スタックモジュールの製造販売

#### 7.2.4.3 スタック

- ① 製品ラインアップは、水冷タイプのみでスタック数を増やすことにより 7kW (48 セル) 、10kW (75 セル) 、13kW (96 セル) スタックをラインアップ。
- ② Life time  
実機で 75,000 h の実績あり
- ④ Bipolar plate  
バイポーラプレートはグラファイト製。  
寿命の点からグラファイトにしているとのこと
- ⑤ Power density  
体積出力密度 (Maximum power density) : 高い Power density は全く目指していないとのことであり 0.5kW/L 未満でかなり低いとのことであった(CEA の 100kW スタックは、4kW/L との情報を得たと説明したことについての回答)

13kW スタックをプラットフォームとして、100kW～2MW までの定置用燃料電池システムに対応するスタックを供給

欧州プロジェクトに参加し、船舶用 (ノルウェー Ulstein 社のオフショア建設支援船) 2MWFC システムを開発する (2022 年より試験開始予定)  
なお本船舶は、現在ディーゼル発電機を搭載しておりこれの置き換え。

総出力 7.5MW の 5.5MW はディーゼルエンジン



(図面を削除しました。)

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	燃料電池の補機動力への適用可能性の調査 矢野特殊自動車へのヒアリング
4. 出張者	パナソニック、JEMA
5. 出張先	矢野特殊自動車

## 6. 日程：

2019 年 3 月 15 日 (月) 13 時~15 時

## 7. 出張概要

**7.1 出張の背景と目的**

燃料電池の補機動力への適用可能性の調査として、冷凍用コンテナ製造の大手である(株)矢野特殊自動車から情報を得る

**7.2 調査結果**

## (1)国内市場規模

- ① 大型トレーラー 一体型 2400 台/年 内 矢野特殊 約 800 台/年
- ② JR コンテナ 切り離し型 RUTEC 社が約 90%シェアで約 160 台/年  
矢野特殊が RUTEC に納入
- ③ 小型トラック 冷凍車は、カーエアコンと同じ使い  
グローバルな市場規模の情報は持っていないとのこと

## (2)冷凍車の方式

まず冷凍機には、2つの方式がある。

- ①エキパン方式 従来から使用されているが、ノズルからの吹き出し時に乱流となる
- ②エジェクター方式 ストレートに圧力が解放されるため乱流がおきず効率が高い

従来は、サブエンジンタイプ(本体のエンジンを冷凍機にも使う直結型とは違う)と呼ばれる冷凍機専用のエンジンを有するタイプが一般に使われてきた。

これは、過去はエンジントラブルや出力低下によって冷凍機が動かなくなることもあり、サブエンジンタイプが主流となっていた。

2000年頃に、デンソーとRUTEKがNEDO事業で、エジェクターを冷凍機に応用し、直結タイプの冷凍トラックを開発し、直結タイプの動きが活発になってきた。(この背景には、コンテナの保温性が向上したこと(約2時間は問題ないとのこと)とエンジンの信頼性が高くなったことが挙げられる)

### (3) 直結タイプの拡大について

日野自動車は、CHV(cool hybrid)車を開発

従来プリウスのバッテリー(どの出力のものかは?)1個で冷凍機専用に使っていたが、同バッテリー約6個を使用したハイブリッド車を開発。

当該バッテリーを、冷凍用にも使用

今年1号車が国内でフリート走行開始

矢野特殊自動車の予測では、今後直結タイプが増えてくとのことであり、燃料電池を補機動力として使用するサブエンジンタイプは減少するのではないかとのことであった。

→燃料電池のアプリケーションとして、大型トレーラーの一体型冷凍機コンテナへの適用は期待薄ではないか

JRコンテナ用途については、燃料電池適用の可能性は十分にあると思われるが、残念ながら市場規模が小さい

### (4) 国内運送業の動向

労働時間短縮の影響を受けて

#### ①フェリーの利用が増えてきている

フェリー移動中は、作業中にはならない

乗船中は、エンジンは停止しなければならない(船上規制)

このため冷凍機は、モーターで動かす。

フェリーには、3相200Vの電源が装備されているよう

#### ②業界の情報

運送業者は規模も千差万別で過剰な状況であり、コスト競争が厳しいため、燃料電池の導入についてはコスト競争力の確保が重要であるとのこと

### (5) 冷凍車に要求される電気出力

大型トラックの場合、220V-15~30Aぐらいではないかとの回答であったが、その後の話の中でかなり大きい容量のものが要求されるとの話もあった。

この点については、再度問い合わせすることとする

#### (6)海外の状況

矢野特殊自動車は、海外の情報は持っていないので、冷凍機メーカーである(株)デンソーに聞くのがよいであろうとのアドバイスをいただいた。

### 7.3 燃料電池スタック等主幹部品の冷凍コンテナへの適用の可能性

- ◇冷凍コンテナの電動化は、今後進んでいく
- ◇大型トレーラーの一体型冷凍機コンテナへの適用は期待薄
- ◇サブエンジン型となる JR コンテナ用途については、燃料電池適用の可能性は十分にあるが、残念ながら市場規模が小さい
- ◇運送業界は、現在はコスト最優先であるためコスト競争力の判断が重要である

以上

添付資料2-6 B

2019 年度 出張報告書

報告書作成日 2019 年 4 月 18 日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	燃料電池の補機動力への適用可能性の調査 矢野特殊自動車 冷凍コンテナなどへの燃料電池適用についてのヒアリング
4. 出張者	JEMA
5. 出張先	矢野特殊自動車

6. 日程：

2019 年 4 月 15 日 (月) 13 時~15 時

7. 出張概要

7.1 出張の背景と目的

燃料電池の車両補機動力への適用可能性調査のため、冷凍用コンテナ製造メーカーの矢野特殊自動車から情報を収集する

7.2 調査結果

・大型トラックでは、サブエンジン方式が中心

サブエンジン方式：トラック駆動用のエンジンとは別に冷凍用のコンプレッサに直結のエンジンが設置されていることから、長時間の停車中などには、サブエンジンのみの運用で冷凍機能を維持することが可能。

・冷凍機

1) エキスパンションバルブ方式（減圧弁タイプ）：ガスは乱流状態で流れるため、圧損が高めとなり、補機動力は高めとなる。

2) エゼクタ方式：層流状態でガスが流れるため、圧損が低く、補機動力の低減が図れる。

・従来のコンテナでは、断熱性能の改善が進められてきており、2 時間程度であれば、冷凍機を停止しても、庫内温度は問題無いレベルに保持可能とのこと。

・冷凍機付きコンテナによる、長時間の移動を伴う荷物の輸送は、近年、運転手確保が困難となってきている状況から、カーフェリーの併用が進んでいる。陸路が長いと、交代運転手を確保する必要が生じるが、カーフェリーで移動中は、運転手は休憩となり、交代要員なしで対応できるメリットがある。

この場合、カーフェリー内ではエンジンはかけられないため、冷凍機用などの目的でカーフェリーの駐車エリアにコンセントが設けられている。

- ・青函トンネル内もエンジンは切る必要がある。青函トンネルは所要時間が短いので、冷凍庫の保冷能力で持たせている。

→以上の様な状況から、現状、FC 駆動の電源を搭載した冷凍コンテナのニーズはあまり無いと考えられる。

- ・海上コンテナ（リーファコンテナ）：荷室+冷凍機+発電機、陸送時はこれをコンテナシャーシに乗せてトレーラヘッドで牽引する。海上では単体で積層して運搬。よって、発電機単体として燃料電池を供給する市場は現状では考えづらいところがある。

- ・エンジンもトラックも寿命は 10-15 年、トレーラは 20-25 年の寿命があるため、機器更新がなかなか進まないことから、新技術の適用は、急速には進みづらい。

- ・海上コンテナのメーカーは中国がメインで、次席がブラジルで、冷凍機とこれに対応する電源アセンブリなどを取り付けて製品化しているケースが多いため、電源部分を FC に置き換えるといった対応は、ハードルが高いと考えられる。現状は別設のエンジン駆動で運用するのがメインであり、冷凍機付きの 40 Ft コンテナ（菱重コールドチェーン 69NT40-541A）の場合、のエンジン出力は 20-25kVA（DCA-20CK II、DCA-25CI）のものが、適用されている。

→エネファームスタックの適用には容量がかなり不足する。また、複数ユニット連結あるいはスタック連結で容量をカバーするとしてもコンパクトネスの観点でハードルが高いと考えられる。

25kVA エンジンの容積：約 2.8m<sup>3</sup> に対し、エネファーム（700W）の発電ユニットの容積：約 0.28m<sup>3</sup> となり、出力対容積でエンジンと比較して、かなり負けている。

以上

# 69NT40-541A



海上コンテナ用機



陸上輸送用トレーラ用機

注：重量コントロール用の商品ですが、工業用工業ではありません

コンテナはISO規格にて製作いたします

40 FTコンテナ w/o エンジン

## 海上コンテナ・陸上輸送トレーラ用冷凍機



中低温用		69NT40-541A	
冷凍能力	庫内温度	●庫内 2℃ 10.260W	
	(外気温度20℃)	●庫内 -18℃ 5.006W	
		●庫内 -25℃ 3.224W	
項目		コンテナ用仕様	
型 式		69NT40-541A(キヤブ製)	
外形寸法(W×H×D)	mm	2026×2235×420	
冷 媒	kg	R134a 4.9kg	
吹 出 方 向		下吹	
ユニット重量	kg	533	
耐熱能力	電 気 ヒ ー タ	4500(+5-10%)	
	エ ー タ 保 護 ゼ ー マ	54℃off 38℃on	
コンプレッサ	シリンダー数	6	
	全 動 力 電 流	AC480Vで17.6A	
コンデンサ	動 機 式	強制送風プレートフィン式	
	モ ー タ 人 力	プロペラファン、プラスチックブレード	
	モ ー タ 人 力	7.96	
エバポレータ	動 機 式	強制送風プレートフィン式	
	モ ー タ 人 力	プロペラファン	
	モ ー タ 人 力	920/460 巻掛式×2機	
ユニットコントロール		電子式MicroLinkコントロール バックライト付液晶ディスプレイ	
保護装置	設定電圧	℃	-20〜+20
	高圧スイッチ	kg/cm <sup>2</sup>	CutOut 2.5
	可 燃 性	℃	99
	過 電 流	A	閉鎖ブレーカ 30, 50, 70 内部保護装置 1極2極2極
冷凍方式		ヒューズ 7.5A, 5A×2	
凍 蔵 保 存 (オプション)		PER-3 3週間保存4000Lキャット ドライ/フローズン手動交換	
電 源 ケ ー ブ ル		18m 200V2芯スワッチケーブル	

# DCA-20CK II

バランスの良いセンターマウント方式。余裕の発電電力20kVA、低騒音型で65dB以下。

コンテナ用仕様

# DCA-25CI

縦型低騒音発電機。発電電力25kVA。



(接続する場合には、構造変更の申請が必要となります。)

注：重量コントロール用の商品ですが、工業用工業ではありません

## 防音型エンジン発電機

項目		エンジン用仕様		
型 式		DCA-20CK II #1	DCA-25CI	
使用外気温度	℃	-5〜+40	-10〜+40	
駆 動 方 式		専用エンジン直結駆動	専用エンジン直結駆動	
外形寸法(W×H×D)	mm	S.T.0-1863×790×1915 WIDE-1863×790×1940	580×1175×1540	
製 品 重 量	kg	935	925	
エンジン	型 式	4サイクル直型水冷直噴直結式 ディーゼルエンジン	4サイクル直型水冷直噴直結式 ディーゼルエンジン	
	排 気 量	ℓ	2.197	2.179
	最高回転数	rpm	23.7kW(32.2PS) / 1800	23.5kW(32.2PS) / 1800
	気 缸 数		4	4
	燃 料	ℓ	200(軽油A5 2号)	60(軽油A5 2号)
	オイル容量	ℓ	12.5(47.5インチ3.3リットル)	8.5(47.5インチ3.4リットル)
発電機	型 式	DF-0270K	DF-0270I	
	定格電力	kVA	20.0	25.0
	出力電圧	V	230/460(巻掛式)	230/460(巻掛式)
	力 率	%	0.8	0.8
	周 波 数	Hz	60	60
	絶縁種別		絶縁クラス F	絶縁クラス F
接続方式		ブラシレス方式	ブラシレス方式	
冷却方式		自然冷却式	自然冷却式	

#1 クラス形式により、駆動方式が異なります。

出典：パンフレット



冷凍機  
菱重コールドチェーン  
TFV2000D



出典:パンフレット

参考: [https://www.rccc.co.jp/jp/product/sub\\_engine\\_003.html](https://www.rccc.co.jp/jp/product/sub_engine_003.html)

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	公益財団法人 鉄道総合技術研究所 燃料電池鉄道車両の現状調査
4. 出張者	(パナソニック)、(JEMA)
5. 出張先	2019 年度 燃料電池シンポジウム (船堀タワーホール)

## 6. 日程:

2019 年 5 月 24 日 (火) 燃料電池シンポジウムでのご講演終了後に、会場近傍にて打合せ

## 7. 出張概要

## 7.1 出張の背景と目的

燃料電池シンポジウムで、燃料電池鉄道車両についての講演をされる公益財団法人 鉄道総合技術研究所 米山 崇 主任研究員から、同研究所における燃料電池鉄道車両の開発状況、その他、海外、国内の関連情報を得る。

## 7.2 調査概要

面談者:公益財団法人 鉄道総合技術研究所 車両制御技術研究部  
水素・エネルギー研究室 主任研究員

## (1) 鉄道車両及び FC 化について

- ・鉄道車両は日本から海外へ相当量の輸出はしている。
- ・車両の保有予備台数はあまり多くなく、高い稼働率が求められる。年間 350 日走行、1 日 12 時間で 8 年間運用するので 33600 時間超の寿命が必要。

現状、電車は 4-5 万両あるが、ディーゼル車両は 3000 両程度と台数が少ない。

- ・必要とされる燃料電池は FC バスレベル、FCV レベルでは連続運転には容量不足
- ・寿命的にも FCV のスタックでは鉄道車両には使えない。定期点検は 4 年毎、消耗品の交換は定検時以外にも認められるが、部品交換は定検時のみ可能。→消耗品以外は 4 年間使えなければならない。
- ・必要出力は平地走行で 100kW/車両程度、傾斜地走行があると、個別に検討が必要。
- ・ドイツでは 1 車両に 200kW モータ 1 基だが、日本では 2 基搭載しているのが一般的。
- ・FC は連続運転での運用を考えているので、定置用と似た運転形態となると考えられる。
- ・車両については国交省の技術基準に沿っている。燃料系は経産省の高圧ガスの基準に対応している。

- ・アルストムは定置用の FC の基準を参照して、TUV に安全性を評価してもらい、ドイツでの走行を達成した。
- ・日本では耐振動性の要求仕様はあるが、耐衝撃性の仕様はない。国際的には耐衝撃の仕様も求められる。
- ・H2 1kg で FC 車両は約 4km 走行可能である。

#### (2) 日本における鉄道車両開発

- ・数年前に JEMA の見学を受けたが、その頃以降、活動は国の補助金を得て継続的に進めてきている。当時から、状況はかなり変わってきており、FC も PCS も車両もすべて新しいものとなっている。
- ・日本では、鉄道事業者が計画して、車両メーカー（日本車輛、川崎重工業、日立製作所が大手、鉄道事業者が独自でメーカーを保有しているケースもある、西日本、北海道）が仕様を決定する。オーダーメイド品。

中小の鉄道事業者は、この様にして設計された車両を既製品として利用する。

事業者が少しのカスタマイズで使えるものを作るかが車両メーカーに求められている。

- ・現状で既存の機器を用い、法対応などを行ったとして、実際に走らせるには2-3年はかかると考えている。寿命やコストを満足いくものにしようとする、見込みが立っていない。

#### (3) 電源構成

- ・FC(120kW)とリチウムイオンバッテリー(360kW)とが、インバータを介してモータに並列に接続されている。
- ・バッテリー駆動の鉄道車両は、実際に走行しているものがある。栃木県の烏山線、北九州の香椎線で運用されている。バッテリー車両は最大でも走行距離は50km程度が上限と考えられる。

#### (4) 国際規格

- ・国内で JR 東海、JR 東日本などは民間企業の位置づけなので、IS に従う義務は無い。
- ・現状の JWG6 にはトレイン専門家がない状況。
- ・鉄道総研は、TC9 の事務局を担当。鉄道車両用の FC メーカーが無い状況で、鉄道総研として、NP を作るのには厳しいと考える。TC9/TC105 でリエゾンを組むことは考えられる。

以上

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	燃料電池船に関する情報収集
4. 出張者	豊田自動織機
5. 出張先	トヨタ自動車株式会社 (名古屋ミッドランドスクエア)

## 6. 日程:

2019 年 6 月 20 日 (木) 9:00~10:00

## 7. 出張概要

## 7.1 打合せの背景

NEDO 委託調査事業「燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査」において、トヨタ自動車に出張し燃料電池船関連調査を行う

## 7.2 打合せの目的

## (1) 燃料電池船ヒアリング

トヨタ自動車より燃料電池船に関する情報を入手する

## 7.3 まとめ

- ・欧州を中心に船舶に対するゼロエミッション規制を予定
- ・バッテリーは長距離航行が出来ないため、F C に期待
- ・日本では防爆が構造が必要なため高コスト、また水上での水素充填は現在出来ない
- ・国内燃料電池船の開発はまだあまり進んでいない

## 7.3.1 詳細情報

## (1) IMO (国際海事機関) 長期戦略

2030 年中頃 海運全体の燃費効率を 40%改善(2008 年比)

2050 年中頃 ↑ 50%改善(2008 年比)

2100 年 温室効果ガス排出量ゼロ



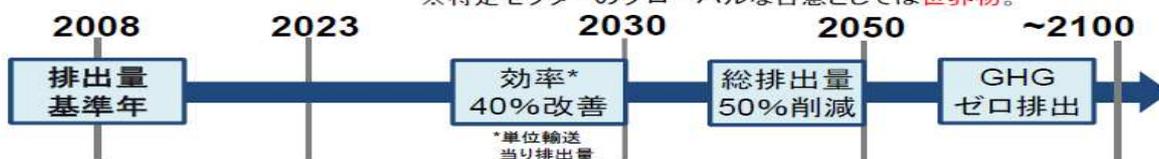
IMO

2018年4月、GHG削減戦略採択

長期目標

今世紀中のなるべく早期に、国際海運からの  
**GHGゼロ排出**を目指す。

※特定セクターのグローバルな合意としては**世界初**。



## (2)規制の動き

- ・オランダ : アムステルダム運河 2025 年
- ・ノルウェー : フィヨルド周辺海域 2026 年 ※1
- ・北米 : 多くの湖にてエンジン使用禁止条例施行済 ※2
  - ※1 フィヨルド近隣海域を規制。補助駆動用途としてバッテリー、水素等を検討  
ノルウェーは電力の 90%以上水力発電。余剰電力を水素 or アンモニアで使用想定
  - ※2 レジャー用途のバッテリーボートは 10 分程度の航行時間

## (3)燃料電池船のうれしさ

- ・ゼロエミッション 電動船 : 長距離航行はバッテリーでは対応不可
- ・静粛性

## (4)燃料電池船ターゲット機種、地域

- ・規制が具体的な欧州、米国が先行すると考えられる

## (5)市場規模

- ・データなし

## (6)参入企業

- ・ノルウェー フィヨルド船 他
- ・燃料電池メーカー Ballard、Hydrogenics
- ・船用 Diesel エンジンメーカーが FC 化を検討

## (7)必要な出力、電圧、稼働時間（エネルギー量）

- ・出力 : 現動力と同等
- ・電圧 : 市販モータ電圧
- ・航行時間 : 現行船と同様、小型船 : 1 日 + α

## (8)求められる要求事項（耐塩害性、大きさ、重量等）

- ・寿命
  - メンテナンスしながら使用のため明言は難しい
  - プレジャーボートの場合 2,000h と言われている
- ・機器搭載の際の安全ガイドラインへの適合
  - 水素タンク・配管の配置、Li イオン電池配置、防爆 他
- ・船特有の使用条件への対応
  - 塩害、高負荷連続運転、衝撃、傾斜

## (9)その他特記事項

- ・日本で燃料電池船ガイドライン策定に向けた事業実施、ガイドライン策定  
H27～29 年度事業 水素燃料電池船の安全ガイドライン策定のための調査研究  
(国交省請負研究) 一般社団法人日本船舶技術協会
- ・ガイドライン策定されたが、防爆構造必要、水上での水素充填不可等、開発は厳しい状況  
以上

添付資料3-1

2018 年度 海外出張報告書

報告書作成日 2018 年 11 月 11 日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	Austrian Energy Agency よりの情報収集
4. 出張者	パナソニック
5. 出張先 と面談者	Austrian Energy Agency (ウィーン) G.S.氏 ; Head of Center Building & Energy Efficiency Monitoring Body A.S.氏 ; Scientific Officer G.T.氏 ; Senior Expert Building

6. 日程

- 2018 年 10 月 14 日 (日) 日本発、ウィーン着
- 2018 年 10 月 15 日 (月) Austrian Energy Agency
- 2018 年 10 月 16(火)~25 (木) その他調査
- 2018 年 10 月 26 日 (金) ミュンヘン発、27 日 (土) 日本着

7. 出張概要

**7.1 出張の背景と目的**

Austrian Energy Agency は、定置用燃料電池の欧州での法規制および対環境性に関する調査活動を継続的に実施している。

このため、以下の項目についての情報収集を狙う。

すでにメールで知らせていたが、以下の調査目的を確認

- Discussion about concerns regarding environmental impacts in each European countries
- Differences in the implementation of each directives and regulations among the countries, if it is exist.
- Trend and Influence of directives and regulation to the fuel cell systems in the future
- Influence of the EU directives and regulations to the other applications of fuel cell systems

## 7.2 ヒアリング結果

欧州各国での環境視点での重要度の違いについては、HyLAW プロジェクトの活動を紹介された。指令や regulation については、現状の説明を受けた  
住宅・ビル用途以外については、現在までに取り組んでいないとのことで、各種用途に対する指令等の影響についての情報は得られなかった

### (1) HyLAW について

HyLAW はコンソーシアム的に活動しており、Hydrogen Europe が Chair とのことである。  
Eu 加盟国 28 か国中 19 国が参加し EU 指令等への取り組み状況等についてアンケート主体で課題等を抽出しながら活動している。コア国は、ドイツ、フランス、イギリスとオランダ。不参加の国は、キプロス、クレタなどで経済や経済規模上の問題によるとのこと。  
この例も含めて、欧州での環境関連への取り組みは組織だてきっちりと進められている。  
HyLAW 活動状況は HP から取れるようだが、具体的なデータは 3 ~ 4 か月後にオープンになるようである。ただし詳細なデータ等へのアクセスはコンソーシアムメンバーのみのようである。  
やはり、環境インパクトは国によって異なるようであり、ポーランドでは酸性雨が大きい問題になっているようである。

### (2) Austrian Energy Agency の活動について

#### ① 燃料電池 CHP

Austrian Energy Agency はこれまで、住宅用燃料電池にフォーカシングして調査してきた。  
燃料電池マイクロ CHP は、燃料電池 CHP は、エコデザインで A+++ を獲得しておりコンデンシングボイラーの A と較べると優れているが、他のマイクロ CHP (スターリングエンジン CHP など) とは環境評価上は大きな差がない状況とのことである。  
コージェネレーションであることが重要であり、発電効率よりも総合効率が重要である。  
日本と比較して熱に対する価値が相対的に高いという事である。  
燃料電池 CHP は、高価格が問題でありオーストリア、スウェーデン、イタリアが主張している。  
ドイツのように、1 万ユーロ近い助成を行うことが困難であるということ。  
さらに、ババリアン地方ではみどりの党が 20% を獲得しており、この党は再生可能エネルギー推進で化石燃料の使用を否定しており燃料電池 CHP には好ましくないようである。  
入手資料を添付する。  
昨年度は、熱のバッファの効果について検証したが、住宅用 CHP についてはほぼ完了できたとのことである。

② 欧州における関連指令についての情報

**i)Eco design & Labeling 指令**

2015年9月より、環境に対するランク付けの表示が義務化。

現在、A++が最高レベルだが、2019年にはA+++が新たに追加される予定。燃料電池コジェネのランクは、A<sup>++</sup>

**ii)EE 指令(Energy Efficiency Directive)**

エネルギー効率の高い機器の導入を推進することを加盟国へ義務付け

**iii)EPBD 指令(Energy Performance of Building Directive)**

加盟国は、新築の建物について省エネ基準を満たすよう、省エネ機器導入を、技術的、環境的、経済的観点から検討をしなければならない。

燃料電池コジェネの機器価格が高いことから、経済的観点で導入の妨げとなっている。

**iv)RES 指令 (Renewable Energy Sources Directive)**

2020年に欧州全体の再生可能エネルギー導入率 20%を目標とする指令。加盟国は再生可能エネルギーの導入目標を掲げなければならない。(オーストリアの場合、2020年に34%が目標)。水力や風力、太陽光発電がメインだが、コジェネも目標達成手段の一つとして挙げられている。

(3) 今後の活動

Austrian Energy Agency は、次年度から FC バスについて詳細検討に入りたいとしている。オーストリアはドイツ等に較べて後れを取っているが、FC バスが 1 台だけ就航したようである。EV バスは結構見かけた。

以上

添付資料3-2

2018 年度 海外出張報告書

報告書作成日 2018 年 11 月 11 日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	CEA よりの情報収集
4. 出張者	パナソニック
5. 出張先	CEA (グルノーブル)

6. 日程：

2018 年 10 月 14 日 (日) 日本発、ウィーン着  
2018 年 10 月 15 日 (月)~22 日 (月) その他調査  
2018 年 10 月 23 (火) CEA Antoni 氏との面談  
2018 年 10 月 24 日 (水) ~25 日 (木) その他調査  
2018 年 10 月 26 日 (金) ミュンヘン発、27 日 (土) 日本着

7. 出張概要

**7.1 出張の背景と目的**

欧州での水素・燃料電池研究開発のキーパーソンである、CEA の A 氏と面談し、欧州での各種燃料電池研究開発の現状及び目標等についての情報を収集する。

—A 氏—

欧州における水素・燃料電池研究の拠点のひとつである CEA Liten の Division Manager であり、欧州の FCH2 JU (Fuel Cell & Hydrogen Joint Undertaking) の Hydrogen Europe Research の CEO でもある。

**7.2 ヒアリング結果**

アプリケーションごとの主幹部品への要求仕様の調査のためのリスト (添付) を作成し、これを提示して入手可能な情報について調査した。

- ・各アプリケーションの主要部品に対する具体的な要求仕様は、秘密情報のため開示することは困難
- ・A氏が CEO を務める FCH2 JU では、2014 年—2020 年の活動計画をまとめており、随時改訂をおこなっている。

直近では 2018 年 6 月 15 日承認された改訂版があり、これを提供していただいた

この最終部分にアプリケーションごとに現状と今後の開発目標が記載されているので参考になるとの

こと

(1) Fuel Cell and Hydrogen 2 JOINT UNDERTAKING(FCH 2 JU)について

以下の3つの組織で構成されている

—Hydrogen Europe/Industry Grouping 約 110 メンバー

—Hydrogen Europe/Research Grouping 約 68 メンバー

—European Commission

これらの3つの組織は、これらの組織のパートナーとリーダーで構成される Governing Board によって運営されている。

FCH2 JU 全体での資金は、2017 年時点で総額 1800 億円規模

内訳は、以下の通りである。

(A) エネルギー関連（水素貯蔵、取扱い、供給、パイプラインなど/再生可能電力およびその他のソースからの水素生成/産業、商業、住宅向け燃料電池 CHP およびその他の効率のよいシステム）

**114プロジェクトが 354 M€（約 49%）の予算で動いている**

(B) 移動体関連（ロードビークル、非ロードビークル、建機、水素ステーション、船舶、列車、航空など）

**52プロジェクトが 337 M€（約 46%）の予算で動いている**

(C) 横断分野

**34プロジェクト 39 M€**

(2) Fuel Cell and Hydrogen 2 JOINT UNDERTAKING(FCH 2 JU)

レポートを添付する

アプリケーションごとの開発の現状と今後の目標について添付資料にまとめる。

主要部品（主にセルスタックと定置用の燃料処理機）の現状性能レベルおよび今後の目標値についての直接的な値は示されていないため、当該調査の目的に供することができる情報にするためには、技術的観点からの推定作業を作業会で行うか、情報はこのレベルに留め推定作業は各企業にて実施するかのいずれかであろう。



## 2. FCH2 JU アプリケーションごとの開発の現状と今後の目標

### ① Light Duty ビークル

出展: [https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/MAWP%20final%20version\\_endorsed%20GB%2015062018%20%28ID%203712421%29.pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/MAWP%20final%20version_endorsed%20GB%2015062018%20%28ID%203712421%29.pdf)

Table 1.1 State-of-the-art and future targets for **fuel cell light duty vehicles (including cars)**

No.	Parameter	Unit	State of the art		FCH 2 JU target FCH 2. III target		
			SoA 2012	International SoA 2017*	Target 2020	Target 2024	Target 2030
1	Fuel cell system durability	h	2,500	4,000	5,000	6,000	7,000
2	Hydrogen consumption	kg/100	na	1.2	1.15	1,1	1
3	Availability	%	95	98	98	99	>99
4	Maintenance	EUR/km	na	0.04	0.03	0.02	0.01
5	Fuel cell system cost	EUR/kW	500	100	60	50	40
6	Areal power density	W/cm <sup>2</sup>	na	1.0	1.5	1.8	2.0
7	PGM loading	g/kW	na	0.4	0.17	0.08	0.05
8	Cell Volumetric power	kW/l	na	5.0	7.3	9.3	10.0

Notes:

- 1) Durability of the fuel cell system until 10% power degradation. The typical vehicle lifetime requirement is 6,000-7,000 h of operation.
- 2) Hydrogen consumption for 100 km driven under real life operation using exclusively hydrogen feed.
- 3) Percent of time that the vehicle is able to operate versus the overall time that it is intended to operate, assuming only FC related technical issues.
- 4) Costs for spare parts and labour for the drivetrain maintenance per km travelled over the vehicle's complete lifetime of 6,000 to 7,000 hours.
- 5) Actual cost of the fuel cell system - excluding overheads and profits, assuming 100.000 systems/year as cost calculation basis.
- 6) Power per cell area @ 0,66V: Ratio of the operating power of the fuel cell to the active surface area of the fuel cell.
- 7) Overall loading in Platinum Group Metals at cathode + anode. (to be only used as guidance, not as a development target).
- 8) Power for single cell (cathode plate, MEA, anode plate) per unit volume, ref: Autostack-core Evo 2 dimensions: cell pitch 1,0mm and cell area: 595cm<sup>2</sup>

\*for cost aspects, when relevant, the European SoA is indicated and labelled with an asterisk

### ② FC バス

Table 1.2 State-of-the-art and future targets for **fuel cell electric buses (e.g. non-articulated type of bus)**

No.	Parameter	Unit	State of the art		FCH 2 JU target		
			SoA 2012	International SoA 2017*	Target 2020	Target 2024	Target 2030
1	Fuel cell system durability	h	10,000	16,000	20,000	24,000	28,000
2	Hydrogen consumption	kg/100 km	9	8.5	8.0	7.5	7.1
3	Availability	%	85	90	90	93	93
4	Yearly operation cost (including labour)	EUR/year	-	-	16,000	14,000	11,000
5	Fuel cell system cost	EUR/kW	3,500	1,500	900 (250 units)	750 (500 units)	600 (900 units)
6	Bus cost	thousand EUR	1,300	650	625 (150 units)	600 (250 units)	500 (300 units)

Notes:

- 1) Durability of the fuel cell system subject to EoL criterion, fuel cell stack life 10% degradation in power or H<sub>2</sub> leak rate as per SAE2578
- 2) Hydrogen consumption for 100 km driven under operations using exclusively hydrogen feed acc. to SORT 1 and 2 drive cycle
- 3) Percent amount of time that the bus is able to operate versus the overall time that it is intended to operate for a fleet availability same as diesel buses.
- 4) Costs for spare parts and man-hours of labour for the drivetrain maintenance
- 5) Actual cost of the fuel cell system - excluding overheads and profits subject to yearly overall fuel cell bus module volume as stated
- 6) Cost of manufacturing the vehicle. In case of buses for which a replacement of the fuel cell stack is foreseen, the cost of stack replacement is included in the calculation. Subject to yearly volumes per OEM as assumed in Roland Berger FC bus commercialisation study.

\*for cost aspects, when relevant, the European SoA is indicated and labelled with an asterisk

### ③ FC 列車

Table 1.3 State-of-the-art and future targets for fuel cell electric trains (300 passengers, 150seated)

No.	Parameter	Unit	State of the art		FCH 2 JU target		
			2012	International SoA 2017*	2020	2024	2030
1	Fuel cell system durability	h	N/A	12,000	20,000	25,000	30,000
2	Hydrogen consumption	kg/100 km	N/A	24 - 34	22 - 32	21 - 30	20 - 28
3	Availability	%	N/A	87	94	97	>99

**Notes:**

No possibility at this time to estimate train cost, including fuel cell system cost and yearly operation costs targets.

- 1) Durability of the fuel cell system subject to EoL criterion output voltage at maximum power
- 2) Hydrogen consumption for 100 km driven under operations using exclusively hydrogen feed
- 3) Percent amount of time that the train is able to operate versus the overall time that it is intended to operate

\*for cost aspects, when relevant, the European SoA is indicated and labelled with an asterisk

### ④ FC 航空機

Table 1.4 State-of-the-art and future targets for fuel cell electric aircrafts

No.	Parameter	Unit	State of the art		FCH 2 JU target		
			2012	International SoA 2017*	2020	2024	2030
1	Fuel cell system durability	h	2,000	5,000	10,000	15,000	20,000
2	Availability	%	-	-	60	75	90
3	Fuel cell system cost	EUR/kW	3,500	>20,000	20,000	6,000	3,000
				>10,000 >15,000	10,000 15,000	3,000 5,000	1,500 3,000
4	Gravimetric Power density	kW/kg	-	2	2.5	3	3.5
				5	6	7	8

**Notes:**

No possibility at this time to estimate aircraft production cost at an assumed up-scaled production level.

- 1) Durability of the fuel cell system until 10% power degradation.
- 2) Percent amount of time that the aircraft is able to operate versus the overall time that it is intended to operate.
- 3) Actual cost of the fuel cell system - excluding overheads and profits for mass production volumes.
  - a) Ram air turbine - emergency system replacement (RAT) (15-50 kW)
  - b) Propulsion (40 kW)
  - c) Cabin Loads - APU (5-20 kW)
- 4) FC Stack & Power converter.

### ③ FC フォークリフト

Table 1.5 State-of-the-art and future targets for **fuel cell forklifts**

No.	Parameter	Unit	State of the art		FCH 2 JU target		
			2012	International SoA 2017*	2020	2024	2030
1	Vehicle lifetime	h	na	-	20,000	20,000	20,000
2	Hydrogen consumption	kg/h	na	-	6.67	6.3	6.0
3	System electrical efficiency	%	45	-	50	53	55
4	Availability	%	90	-	98	98	98
5	Mean time between failures (MTBF)	h	na	-	750	1,000	1,250
6	Cost of spare parts	EUR/h	na	-	7	5	4
7	Labour	personh/kh	na	-	10	7	5
8	Fuel cell system cost (10 kW)	EUR/kW	4,000	-	2,500	1,250	450
9	Est. FC system cost @ mass prod.	EUR/kW	na	-	-	1,250	450

Notes:

- 1) Total number of hours of vehicle operation until end of life (assuming >98% availability in the fleet in heavy duty 3/7 or 3/5 shift operation).
- 2) Hydrogen consumption for h of operations using exclusively hydrogen feed for Class 1 forklift load cycle @ 10kW avg. system power output (Begin-of-Life)
- 3) Percentage (%) of electricity generated by the fuel cell vs. energy contained in the hydrogen delivered to fuel cell (LHV) for Class 1 forklift load cycle @ 10kW avg. system power output (Begin-of-Life)
- 4) Percent amount of time that the forklift is able to operate versus the overall time that it is intended to operate.
- 5) Average time between successive failures leading to downtime (MTBF in the fleet in heavy duty 3/7 or 3/5 shift operation).
- 6) Costs for spare parts for the system maintenance as percentage of system investment over the vehicle's complete lifetime.
- 7) Man-hours of labour for the system maintenance per 1000 h of operations over the vehicle complete lifetime.
- 8) Actual cost of the fuel cell system - excluding overheads and profits.
- 9) Estimated fuel cell system cost at an assumed up-scaled production level of 2024: 20,000 units/production & 2030: FC cost level benefits from automotive, bus and truck volumes.

\*for cost aspects, when relevant, the European SoA is indicated and labelled with an asterisk

### ⑤ オンボード 水素タンク

Table 1.6 State-of-the-art and future targets for **on-board gaseous hydrogen storage tank**

No.	Parameter	Unit	State of the art		FCH 2 JU target		
			2012	International SoA 2017*	2020	2024	2030
1	CAPEX - Storage tank	EUR/kg H2	3,000	1,000	500	400	300
2	Volumetric capacity (at tank system level)	kg/l	0.02	0.023	0.03	0.033	0.035
3	Gravimetric capacity (at tank system level)	%	4	5	5.3	5.7	6

Notes:

- 1) Total cost of the storage tank, including one end-plug, INCLUDING the in-tank valve injector assembly assuming 100,000 parts/year.
- 2) Weight of hydrogen that can be stored over the volume of the tank (including in-tank valve injector assembly, tank walls, bosses, plug and the volume for the hydrogen itself).

## ⑥ 水素ステーション

Table 1.7 State-of-the-art and future targets for Hydrogen Refuelling Stations (HRS)

No.	Parameter	Unit	State of the art		FCH 2 JU target		
			2012	International SoA 2017*	2020	2024	2030
1	Lifetime	years	na	10	12	15	20
2	Durability	years	na	-	5	10	15
3	Energy consumption	kWh/kg	na	10	5	4	3
4	Availability	%	na	95	96	98	99
5	Mean time between failures (MTBF)	days	na	20	48	72	168
6	Annual maintenance cost	euros/kg	na	-	1.0	0.5	0.3
7	Labour	Person h/kh	na	-	70	28	16
8	CAPEX for the HRS	Thousand EUR/(kg/day)	7,5	7	4-2,1	3-1,6	2,4-1,3
9	Cost of renewable hydrogen	EUR/kg	13	12*	11	9	6

Notes:

- 1) Total number of hours of station operation.
- 2) Time that the HRS without its major components/parts (storage, compressor, pump) being replaced, is able to operate (storage shall be changed when the number of cycle reaches the regulatory limit. Replacement of hydraulic compressor is forecasted between 10 to 15 years).
- 3) Station energy consumption per kg of hydrogen dispensed when station is loaded at 80% of its daily capacity - For HRS which stores H<sub>2</sub> in gaseous form, at ambient temperature, and dispense H<sub>2</sub> at 700bar in GH<sub>2</sub> from a source of >30 bar hydrogen.
- 4) Percent amount of hours that the hydrogen refuelling station is able to operate versus the total number of hours that it is intended to be able to operate (consider any amount of time for maintenance or upgrades as time at which the station should have been operational).
- 5) Parts and labour based on a 200kg/day throughput of the HRS. Includes also local maintenance infrastructure. Does not include the costs of the remote and central operating and maintenance centre.
- 6) Person -hours of labour for the system maintenance per 1,000 h of operations over the station complete lifetime.
- 7) Total costs incurred for the construction or acquisition of the hydrogen refuelling station, including on-site storage. Exclude land cost & excluding the hydrogen production unit. Target ranges refer to a 200 kg/day station and a 1000kg/day station.
- 8) Cost for the hydrogen dispensed (at the pump), considering OPEX and CAPEX according to the operator's business model.

\*for cost aspects, when relevant, the European SoA is indicated and labelled with an asterisk

⑦ アルカリ形水電解による再生可能 E からの水素製造

**Annex 2: Energy systems State-of-the-art and future targets (KPIs)**

Table 2.1 State-of-the-art and future targets for hydrogen production from renewable electricity for energy storage and grid balancing using alkaline electrolyzers

No.	Parameter	Unit	State of the art		FCH 2 JU target		
			2012	2017	2020	2024	2030
<b>Generic system*</b>							
1	Electricity consumption @nominal capacity	kWh/kg	57	51	50	49	48
2	Capital cost	€/kg/d	8,000	1,600	1,250	1,000	800
		(€/kW)	(~3,000)	(750)	(600)	(480)	(400)
3	O&M cost	€/kg/d/yr	160	32	26	20	16
<b>Stack</b>							
4	Degradation	%/1000hrs	-	0.13	0.12	0.11	0.10
5	Current density	A/cm <sup>2</sup>	0.3	0.5	0.7	0.7	0.8
6	Use of critical raw materials as catalysts	mg/W	8.9	7.3	3.4	2.1	0.7

*Notes:*

\*Standard boundary conditions that apply to all system KPIs: input of 6kV AC power and tap water; output of hydrogen meeting ISO 14687-2 at a pressure of 30 bar. Correction factors may be applied if actual boundary conditions are different.

2) Capital cost are based on 100MW production volume for a single company and on a 10-year system lifetime running in steady state operation, whereby end of life is defined as 10% increase in energy required for production of hydrogen. Stack replacements are not included in capital cost. Cost are for installation on a pre-prepared site (fundament/building and necessary connections are available). Transformers and rectifiers are to be included in the capital cost.

3) Operation and maintenance cost averaged over the first 10 years of the system. Potential stack replacements are included in O&M cost. Electricity cost are not included in O&M cost.

4) Stack degradation defined as percentage efficiency loss when run at nominal capacity. For example, 0.125%/1000h results in 10% increase in energy consumption over a 10 year lifespan with 8000 operating hours per year

5) The critical raw material considered here is Cobalt. Other materials can be used as the anode or cathode catalysts for alkaline electrolyzers. 7.3 mg/W derives from a cell potential of 1,7 V and a current density of 0,5 A/cm<sup>2</sup>, equivalent to 6.2 mg/cm<sup>2</sup>.

⑧ PEFC 形水電解による再生可能 E からの水素製造

Table 2.2. State-of-the-art and future targets for hydrogen production from renewable electricity for energy storage and grid balancing using PEM electrolyzers

No.	Parameter	Unit	State of the art		FCH 2 JU target		
			2012	2017	2020	2024	2030
<b>Generic system</b>							
1	Electricity consumption @nominal capacity	kWh/kg	80	58	55	52	50
2	Capital cost	€/kg/d (€/kW)	8,000 (~3,000)	2,900 (1,200)	2,000 (900)	1,500 (700)	1,000 (500)
3	O&M cost	€/kg/d/yr	160	58	41	30	21
<b>Specific system</b>							
4	Hot idle ramp time	sec	80	10	2	1	1
5	Cold start ramp time	sec	300	120	30	10	10
6	Footprint	m <sup>2</sup> /MW	-	120	100	80	45
<b>Stack</b>							
7	Degradation	%/1000hrs	0.375	0.250	0.190	0.125	0.12
8	Current density PEM	A/cm <sup>2</sup>	1.7	2.0	2.2	2.4	2.5
9	Use of critical raw materials as catalysts PGM	mg/W	-	5.0	2.7	1.25	0.4
10	Use of critical raw materials as catalysts Pt	mg/W	-	1.0	0.7	0.4	0.1

Notes:

Availability is fixed at 98% (value from the electrolysis study).

1) to 3) and 7) similar conditions as for alkaline technology (previous table)

2) The time from hot idle to nominal power production, whereby hot idle means readiness of the system for immediate ramp-up. Power consumption at hot idle as percentage of nominal power, measured at 15°C outside temperature.

3) The time from cold start from -20°C to nominal power

9) This is mainly including ruthenium and iridium as the anode catalyst and platinum as the cathode catalyst (2,0 mg/cm<sup>2</sup> at the anode and 0,5 mg/cm<sup>2</sup> at the cathode). The reduction of critical raw materials content is reported feasible reducing the catalysts at a nano-scale.

⑨ SOC形水電解による再生可能 E からの水素製造

Table 2.3. State-of-the-art and future targets for Hydrogen production from renewable electricity for energy storage and grid balancing using high-temperature SOE

No.	Parameter	Unit	State of the art		FCH 2 JU target		
			2012	2017	2020	2024	2030
<b>Generic system*</b>							
1	Electricity consumption @rated capacity	kWh/kg	na	41	40	39	37
2	Availability	%	na	na	95%	98%	99%
3	Capital cost	€/kg/d	na	12,000	4,500	2,400	1,500
4	O&M cost	€/kg/d/yr	na	600	225	120	75
<b>Specific system</b>							
5	Reversible efficiency	%	na	50%	54%	57%	60%
6	Reversible capacity	%	na	20%	25%	30%	40%
<b>Stack</b>							
7	Production loss rate	%/1000hrs	na	2.8	1.9	1.2	0.5

Notes:

\*Standard boundary conditions that apply to all system KPIs: input of AC power and tap water; output of hydrogen meeting ISO 14687-2 at atmospheric pressure. Correction factors may be applied if actual boundary conditions are different.

From 3) and 4) please refer to table 2.1 ( similar conditions as for alkaline technology)

5) Reversible efficiency is defined as the electricity generated in reversible mode of the electrolyser, divided by the lower heating value of hydrogen consumed.

6) Reversible capacity is defined as a percentage of the electric capacity in fuel cellmode in relation to the electrolyser mode

7) Degradation at thermo-neutral conditions in percent loss of production-rate (hydrogen power output) at constant efficiency. Note this is a different definition as for low temperature electrolysis, reflecting the difference in technology.

⑩ 低炭素フットプリントでの他ソースからの水素製造

**Table 2.4 State-of-the-art and future targets for Hydrogen production with low carbon footprint from other resources**

No.	Parameter	Unit	State of the art		FCH 2 JU target		
			2012	2017	2020	2024	2030
<b>Hydrogen from raw biogas*</b>							
1	System energy use	kWh/kg	62	56	56	55	53
2	System capital cost	€/kg/d	4,200	3,800	3,100	2,500	1,500
<b>High temp. water splitting*</b>							
1	System energy use	kWh/kg	120	110	100	94	88
2	System capital cost	€/kg/d	4,000	3,500	2,500	1,700	1,400
3	System lifetime	years	0.5	1	2	10	10
<b>Biological H2 production**</b>							
1	System hydrogen yield	H2/C	0.60	0.62	0.64	0.65	0.65
2	Reactor production rate	kg/m3 reactor	2	10	40	100	200
3	Reactor scale	m3	0.05	0.5	1	10	10

Notes:

\*The system energy use values include the energy required for heat generation and for producing hydrogen at 30 bar output pressure to meet ISO 14687-2. Correction factors may be applied if the actual boundary conditions are different.

\*\* Concerning Microorganisms e.g. Algae

⑪ 水素貯蔵

Table 2.5 State-of-the-art and future targets for **hydrogen storage and large scale storage**

No.	Parameter	Unit	State of the art		FCH 2 JU target		
			2012	2017	2020	2024	2030
<b>Compressed gas tube trailers</b>							
1	Capacity	kg	400	850	1000	1000	1000
2	Capital cost	€/kg	550	400	350	350	350
<b>Large scale H2 storage*</b>							
1	Chain efficiency	%	-	60	67	70	72
2	Release energy use	kWh/kg	-	13.3	11	10	9.3
3	System capital cost	€/kg	1.2	1.1	1.0	0.8	0.6

Notes:

\*Storage of at least 10 tones of hydrogen for at least 48 hours, including all necessary conversion steps from clean H2 input to clean H2 output at 30 bar. Correction factors may be applied if actual boundary conditions are different.

⑫ 小型 (0.3-5kW) 定置用 CHP とモノジェネ機

Tables 2.6 State-of-the-art and future targets fuel cell systems for CHP and power only for stationary applications

Table 2.6.1 State-of-the-art and future targets residential micro CHP for single family homes and small buildings (0.3 - 5 kW)

No.	Parameter	Unit	State of the art		FCH 2 JU target		
			2012	2017	2020	2024	2030
1	CAPEX	€/kW	16,000	13,000	10,000	5,500	3,500
2	Lifetime	years of appliance operation	10	12	13	14	15
3	Availability	% of the appliance	97	97	97	97	98
4	Durability of key component (stack)	hrs	25,000	40,000	50,000	60,000	80,000
5	Reliability	MTBF (hrs)	10,000	30,000	50,000	75,000	100,000
6	Electrical efficiency	% LHV	30-60	33-60	35-60	37-63	39-65
7	Thermal efficiency	% LHV	25-55	25-55	30-55	30-55	30-55
8	Maintenance costs	€/Ct/kWh	40	20	5	3.5	2.5
9	Tolerated H2 content in NG	% (Volume)	5%	5%	100%	100%	100%
10	Installation volume/unit	l/kW	330	240	230	225	220

Notes:

- 1) Cost of manufacturing (labour, materials, utilities) of the m-CHP unit at current production levels (exclude monetary costs, e.g. overheads, profits, rebates, grants, VAT, insurances, taxes, land)
- 2) Lifetime (years) that the m-CHP unit, with its major components/parts being replaced, e.g. stack, is able to operate until the End-of-Life.
- 3) Ratio of the time that the FC module was able to operate minus downtime divided by the time that was expected to operate. Downtime is the time that the FC is not able to operate-include time for (un)scheduled maintenance, repairs, overhaul etc.
- 4) Time that a maintained fuel cell stack is able to operate until End-of-Life criterion - as specified by the OEM.
- 5) Mean time between failure of the FC that render the system inoperable without maintenance or average time between successive failures leading to downtime. time that the FC is not able to operate includes (un)scheduled maintenance, repairs, overhaul etc.
- 6) Electrical efficiency at rated capacity for the FC module as % of electrical output vs energetic content of fuel - Low Heating Value (LHV).
- 7) Thermal efficiency at rated capacity for the FC module as % of electrical output vs energetic content of fuel - LHV.
- 8) Operation and maintenance costs per kWh of electricity produced - including running, overhaul, repair, maintenance labour costs and costs of stack replacement; excluding: fuel cost, insurances, taxes, etc.
- 9) Percent amount of hydrogen that can be blended into the hydrocarbon feed (usually natural gas) allowing normal functioning of the fuel cell module.
- 10) Volume of fuel cell module as is available for installation in its basic configuration, in l/kW.

⑬ 中型 (5-400kW) 商業用・大型ビル用

**Table 2.6.2 State-of-the-art and future targets mid-sized installations for commercial and larger buildings (5 - 400 kW)**

No.	Parameter	Unit	State of the art		FCH 2 JU target		
			2012	2017	2020	2024	2030
1	CAPEX	€/kW	6,000 - 10,000	5,000 - 8,500	4,500 - 7,500	3,500 - 6,500	1,500 - 4,000
2	Lifetime	years of plant operation	2 - 20	6 - 20	8 - 20	8 - 20	15-20
3	Availability	% of the plant	97	97	97	97	98
4	Durability of key component (stack)	khrs	25	30x	50	60	80
5	Reliability	MTBF (hrs)	10,000	20,000	30,000	50,000	80,000
6	Electrical efficiency	% LHV	40-45	41-55	42-60	42-62	50-65
7	Thermal efficiency	% LHV	24-40	24-41	24-42	24-42	30-50
8	Maintenance costs	€ Ct/kWh	8.6	7.6	2.3	1.8	1.2
9	Tolerated H2 content in NG	% (Volume)	50%	50%	100%	100%	100%
10	Land use/ footprint	m2/kW	0.25	0.15	0.08	0.07	0.06

Notes:

From 1) to 9) please refer to the definitions of table 2.6.1

10) Base surface (width x depth) occupied by the stationary fuel cell module per unit of rated electrical capacity.

⑭ 水素と再生可能メタンの電力変換のための大型 FC (0.4-30MW)

Table 2.6.3 State-of-the-art and future targets large scale FC installations, converting hydrogen and renewable methane into power in various applications (0.4 - 30 MW)

No.	Parameter	Unit	SoA		FCH 2 JU target		
			2012	2017	2020	2024	2030
1	CAPEX	€/kW	3,000 4,000	3,000 - 3,500	2,000 - 3,000	1,500 - 2,500	1,200 1,750
2	Lifetime	years of plant operation	n/a	15	25	25	25
3	Availability	% of the plant	98	98	98	98	98
4	Durability of key component (stack)	khrs	15	20-60	20-60	20-60	25-60
5	Reliability	MTBF (hrs)	n/a	n/a*	25,000	30,000	75,000
6	Electrical efficiency	% LHV	45	45	45	45	50
7	Thermal efficiency	% LHV	20	20-40	22-40	22-40	22-40
8	Maintenance costs	€ Ct/kWh	n/a	2.8-5	3	3	2
9	Start/Stop characteristics	-	-	4 hrs 0- 100%	-	100%/1 min	-

Notes:

\*insufficient number of units installed to get statistically supported figure

From 1) to 8) please refer to the definitions of table 2.6.2

9) Time required to reach the nominal fuel cell rated output when starting the system from shut-down mode (at ambient temperature).

以上

添付資料3-3

2018 年度 海外出張報告書

報告書作成日 2018 年 11 月 11 日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	IEA AFC Annex33 よりの情報収集
4. 出張者	パナソニック
5. 出張先	Erdgas Schwaben(アウグスブルク)

6. 日程：

2018 年 10 月 14 日 (日) 日本発、ウィーン着  
2018 年 10 月 15 日 (月) ~23 日 (火) その他調査  
2018 年 10 月 24(水)~25 (木) IEA AFC Annex33  
2018 年 10 月 26 日 (金) ミュンヘン発、27 日 (土) 日本着

7. 出張概要

7.1 出張の背景と目的

IEA AFC Annex33 (定置用燃料電池) 会議に参加し各国での定置用燃料電池の開発状況を調査し、今後のマーケット検討のための情報を得ることを目的とする。

すでにメールで知らせていたが、以下の調査目的を確認

7.2 開催概要

7.2.1 Erdgas Viessmann/Panasonic 社 家庭用 CHP 設置サイトの見学 (10/24)

日時：2018 年 10 月 24 日 (水)

新規開発住宅

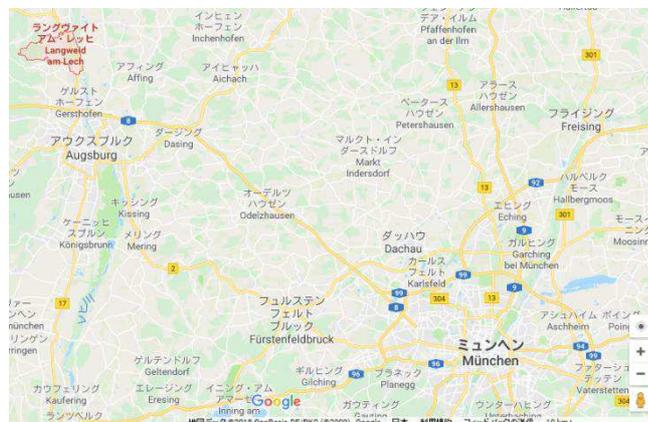
場所：アウグスブルク

Langweit (アウグ  
スブルク駅から車で約  
20分)

ミュンヘンにも近い農場の一部  
を開発中

農場は地価が高く、ミュンヘン  
にも近いこともあり 1 戸当たりの  
価格は 7000 万円前後と

高級な住宅である



出典：Google map

開発：Erdgas Schwaben 社

住宅の形態 ; 2~3戸/一軒

16世帯すべてにエネファームを設置販売 設備として含んだ価格で販売

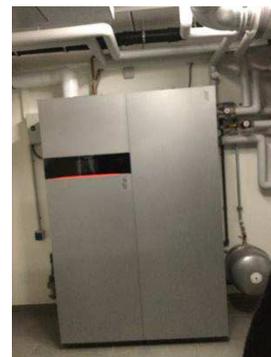
エネファーム ; VITOTALOR PT2(Power Unit:Panasonic /ボイラー26kW/フィースマン)

メンテナンス費は、10年まとめて2500ユーロで設定している。  
定格運転で、40時間ごとに一度停止  
地域でヒーティングシステムを作るのは難しく個別のヒートシステムとなっている

2つのビルではヒートパイプを導入しているとのこと  
見学した家(内装中) : 地上3階 地下1階

3戸/建物 隣の2建はすでに生活している。

EFはベースメントに設置されておりワンダクトで排気  
高気密住宅のため、ベンチレーションシステムもEFの横に設置されている。



### 7.2.2 Annex33 会議 (10/25)

1. Information from the ExCo and the new term for the TCP(Technical Collaboration Programme) (Bengt Ridell/SWECO)

IEA TCP の現状についての報告

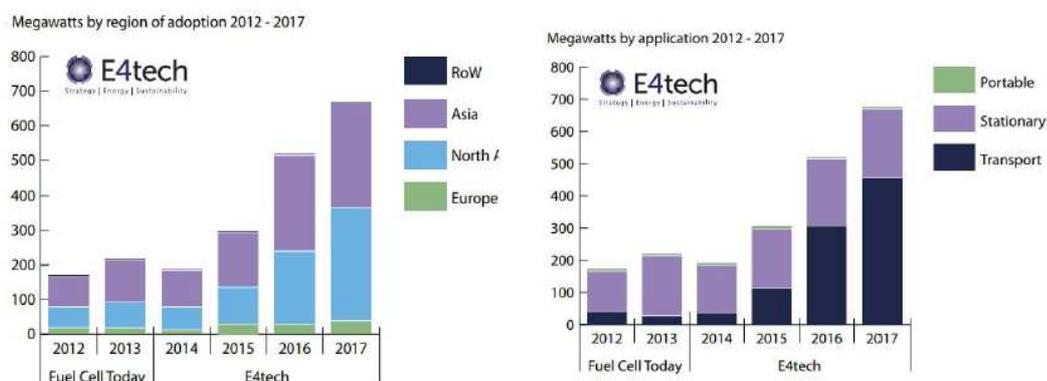
各 Annex の OA (Operating Agent) の紹介

Annex33 は、現在 SWECO 社の Ridell 氏が OP を長年務めてきたが、新しい OA を求めているとの表明があった。

### IEA Advanced Fuel Cells

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| ▪ Annex 30: Electrolysis     | J. Mergel, FZJ, Germany                |
| ▪ Annex 31: PEFC             | DJ Liu, Argonne NL, USA                |
| ▪ Annex 32: SOFC             | J Kiviho, Finland VTT                  |
| ▪ Annex 33: Stationary       | B Ridell, Sweden <u>new OA wanted!</u> |
| ▪ Annex 34: Transport        | R Ahluwalia, Argonne NL, USA           |
| ▪ Annex 35: Portable         | Fabio Matera, ITAE Messina Italy       |
| ▪ Annex 36: Systems Analysis | Cam Samsun, FZJ Germany                |
| ▪ Annex 37: Modelling        | S.Beale, FZJ Germany                   |

エリアごとおよびアプリケーションごとのマーケットの伸長（発電総量で記載）の状況の報告（情報ソースは主に E4tech）



<http://www.fuelcellindustryreview.com/>

- Asia: Ene-Farm microCHP in Japan and FCV Hyundai, Toyota and Honda MCFC Korea and PAFC Korea
- North America: Ballard PEFC, FCE MCFC, Doosan PAFC
- Europe: EU projects and Germany NOW Program  
Europe is waiting for larger stationary and cars Daimler....
- Portable fuel cells has not yet succeeded but here are some prospects

北米およびアジアでの市場拡大が顕著であるが、北米ではバラード社や Doosan 社、アジアではエネファームや韓国での MCFC, PAFC および FCV(トヨタ、ホンダ、ヒュンダイ)などが牽引している。これに対して欧州での伸びは少ない。

用途別では、移動体の伸びが大きい。定置用の伸びが大きくないのは 1 台あたりの発電出力が小さいためであると考えられる。ポータブル燃料電池は、なお成功している状況ではないが、市場拡大の見込みがあるとしている。

欧州の PACE プロジェクトの紹介があったが、現時点では 参画 4 チーム中、Viessmann-Panasonic と SOLIDPower-SOFC Italy の 2 チームのみが継続参加しているようである。

## 2. Subtask 1 The energy situation and stationary fuel cells in Germany

(Ulf Birnbaum)

### (1)家庭用燃料電池導入の課題

- 条例などの法規の履行が他の技術よりも難しい
- 設置や保守が難しい
- 技術が複雑なため、ユーザーが製品への信頼性等に懐疑的である

(2)導入のメリット

- ・燃料消費の削減による CO2 排出量の削減
- ・発電の分散化

顧客への直接的なメリット

- ・個人による発電と買電の削減
- ・助成金の獲得による投資削減
- ・売電による儲け
- ・家庭用暖房コストが、他の革新的な技術よりも安価

(3)建物へのエネルギー効率の法規制を満足することができる暖房技術

- ・ガスコンデンスボイラー+太陽光ヒーティング
- ・ガスヒートポンプ+太陽光ヒーティング
- ・ガスヒートポンプ

(4)それぞれの技術の価格 (VAT と設置費を含む)

- |         |              |                             |
|---------|--------------|-----------------------------|
| ・ガス     | 6000-9000€   | (ガスコンデンスボイラー、太陽光ヒーティング+タンク) |
| ・オイル    | 7000-9000€   |                             |
| ・太陽光    | 4000-10000€  |                             |
| ・ペレット   | 17000-25000€ |                             |
| ・ヒートポンプ | 12000-25000€ |                             |
| ・CHP    | 20000-40000€ |                             |

### 3. Fuel Cells in Japan and Panasonic (Hashimoto/Panasonic)

以下 NEDO 提供およびパナソニック作成のスライドで報告

(図面を削除しました。)

### 4. Subtask 3 The implementation of EU Directives and Regulations – Opportunities or threats for fuel cell systems? (Alfred Schuch/Austrian Energy Agency)

暖房についての考え方

- ・コンデensingボイラーの容量は、顧客がどの程度温水の供給に関して我慢できるかによって決定される
- ・このため、ボイラーはオーバーサイズになる；すなわち効率が低下
- ・FC CHP もバッファータンクを必要とするが、排熱をできる限り利用することができる
- ・バッファータンクは燃料電池システム中のコンデensingボイラーとピークデマンドボイラーの容量を小さくできる
- ・バッファータンクとモジュレーティングピークボイラーを有する燃料電池システムと、バッファータンクを有するコンデensingボイラーの OPEX を比較する必要がある。

以上により、バッファータンクの有効性について検討をした結果が紹介された。(結論のみで具体的なデータの開示はなかったが、結論は常識的)

- ・バッファータンクを有する FC は、電力需要への対応力が増加し、グリッドの分散化に貢献
- ・バッファータンクを有する FC は、さらにガスグリッドへの貢献が増加
- ・バッファータンクを有するコンデensingボイラーの場合もガスグリッドについては上記同様の効果を有する

## 5. Fuelcells in Finland and status of SOFC(Jari Kiviaho/VTT)

フィンランドにおける SOFC 開発状況

### (1) VTT における開発

SOFC および SOEC について

テストスタンド ; 5kW までのショートスタック、10kW までのスタックモジュールおよび 5-10kW のシステムに適用

材料および補機部品の試験

コンプリートシステムのモデリング

製造自動化と品質保証

・1000€/kW 年間 10MW 製造時

・自動化と品質保証によって収率 95%以上でのスタック製造 (すべての部品について) を目指す

—実証試験—

① in イタリア Turin

Convion 社と共同実施

バイオガス燃料による

175kW SOFC

発電効率は、>約 50%

最大で 55-56%

<http://www.innosofc.eu/results/result1>

[https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/documents/ga2011/6\\_Session%205\\_INNO-SOFC%20%28ID%204811777%29.pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/documents/ga2011/6_Session%205_INNO-SOFC%20%28ID%204811777%29.pdf)

② FCH JU プロジェクト

ミニ FC-CHP (10-12kW,20-25kW および 50-60kW) を~25 台

VTT がコーディネート

Convion, Sunfire, SolodPowe, HTCCeramics, Polito, Energy Matters が参画

③ BALANCE プロジェクト

VTT,CEA, DTU,EPFL,ENEA、バーミンガム大学、TUDelft, JEN?と共同実施

④ LEMENE プロジェクト

フィンランド Tampere の工業団地に再生可能エネルギーによるスマートグリッド開発

・4MW 太陽光、8MW ガスエンジンと 116kW SOFC およびバッテリーを使用したグリッドの BALANCE

・Convion と Elcogen が SOFC スタックとシステムを提供

2019 年に設置完了予定

(図面を削除しました。)

### (2) Elcogen 社

・650°Cで作動する低温 SOC のセルおよびスタックを開発・製造

メタルサポートではないとのこと

- ・日本、中国、台湾、韓国を含む約 50 顧客を有することのこと

### (3) CONVION 社

紹介された内容は、公開されているため省略する

### (4) まとめ

- ・elcogen 社と CONVION 社の製品は市場導入されている
- ・研究プロジェクトは、主に EU ファンドによる
- ・フィンランドの直接のファンドはないが、政府から 100M€のファンドが再生可能エネルギーと新技術に割り当てられている

### 6. その他

USA の活動状況の報告が、Bengt Ridell 氏/SWECO と Whitney Coellal 氏/ Gaia Energy Research Institute) あった。

- ・Bengt Ridell 氏からは、DOE の活動状況
- ・Whitney Coellal 氏からは、“SOFC-エンジン/タービン ハイブリッドシステムの設計とコスト試算”および“水素加圧機の経済性”について  
発表資料は別途提供する。

以上

添付資料4-1

2019 年度 海外出張報告書

報告書作成日 2020 年 1 月 16 日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	European Fuel Cell2019, CEA, IEA TPC Annex33 および Nedstack 社での情報収集
4. 出張者	パナソニック
5. 出張先	CEA (グルノーブル FR) 、EFC2019、Annex33 (ナポリ IT) 、Nedstack 社 (アルンヘム NE)

6. 日程：

2019 年 12 月 3 日 (火) 伊丹発 リオン到着後 バスでグルノーブル  
 2019 年 12 月 4 日 (水) リオン到着後 バスでグルノーブル  
 2019 年 12 月 5-6 日 (木、金) CEA および移動用パワーパック標準化会議  
 2019 年 12 月 7 日 (土) ナポリに移動  
 2019 年 12 月 8 日 (日) EFC2019 Registration  
 2019 年 12 月 9-10 日 (月、火) EFC2019  
 2019 年 12 月 11 日 (水) IEA TPC Annex33  
 2019 年 12 月 12 日 (木) アムステルダムに移動  
 2019 年 12 月 13 日 (金) Nedstack 社  
 2019 年 12 月 14-15 日 (土、日) アムステルダム発 ミュンヘン、羽田経由 伊丹 帰国

以下、IEA TCP AFC Annex33 概要報告 (他の報告は資料2-5参照)

詳細は、Minutes 案(3ページ目以降)を参照ください。

1. 各 Annex の Operating Agents

Annex 30: Electrolysis /ドイツ  
 Annex 31: PEFC /米国  
 Annex 32: SOFC /フィンランド  
 Annex 33: Stationary /イタリア  
 Annex 34: Transport /米国  
 Annex 35: Portable /イタリア

Annex 36: Systems Analysis/米国とドイツ

Annex 37: Modeling /ドイツ

## 2. Annex33 体制案

Subtask とリーダー国

Subtask 1 小形定置用 / 日本

Subtask 2 新指令と規定について / オーストリア

Subtask 3 大形定置用 /韓国

Subtask 4 将来のエネルギーシステムにおける燃料電池/スイス (Stephan Renz)

## 3. Annex33 運営案

原則年 1 回の開催とし関連イベントもしくは関連 Annex とジョイント開催とする。

2020 年度 : EFCF2020 および Annex32 とのジョイント開催 (2020 年 7 月 ルツェルン)

2021 年度案 : FC エキスポにジョイント (2021 年 2 月末) を候補とする

## 4. 現時点で日本の参加企業は以下の通り

パナソニック、アイシン精機、東芝

## 5. 今回の発表内容

(1)パナソニック : 日本の定置用燃料電池の開発状況 (NEDO 資料) とパナソニックの活動状況について

(2)SOLID POWER 社 : 欧州での PACE プロジェクトでの活動状況について

(3)Austrian Energy Agency : 欧州各国における EU 指令への対応の現状と今後について

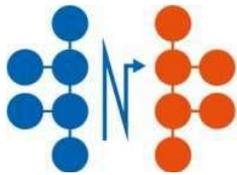
(4)Stephan Renz 氏より : グローバル市場における大形定置用燃料電池の現状について

(5)FBK Luigi Crema 氏 : 欧州プロジェクト CH2P プロジェクトと SWITCH プロジェクトについて

(6)その他

今回は、EFC2019 にジョイントしていたこともあり、これまでの Annex33 会議に較べて参加者も多く、ドイツ、スペイン、USA およびカリフォルニアからの参加者より各地域での活動状況の報告があった。

以上



IEA Technology Collaboration Programme

# Advanced Fuel Cells

## Minutes from meeting No.1 IEA TCP Advanced Fuel Cells Annex 33 Fuel Cells for Stationary Applications

**Held during EFC19 Naples, Italy December 9-11, 2019**

Time and location: December 11, 2019, Naples, Italy  
DRAFT version

### Participants:

Country	Participant	Affiliation
Italy	Viviana Cigolotti	ENEA
Italy	Stefano Modena	SolidPower
Austria	Werner Liemberger	Austrian Energy Agency
Switzerland	Stephan Renz	Renz Beratung
Germany	Remzi Can Samsun	Forschungszentrum Jülich
Japan	Noburo Hashimoto	Yamanashi University
Spain	Emilio Nieto	CNH2
Spain	Carlos Funez	CNH2
Italy	Anna Pinnarelli	University of Calabria
Italy	Luigi Crema	FBK
US	Cory Schumaker	California Hydrogen Business Council

### 1. Welcome and verification of participants

The participants in Annex 33 were welcomed to Naples by our host from ENEA Viviana Cigolotti, who is the new Operating Agent of Annex 33. This is the first meeting in the new period 2019-2024.

The meeting has been organized during the European Fuel Cell Piero Lunghi Conference – EFC19, Naples, Italy.

### 2. Agenda

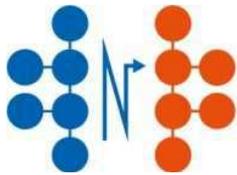
The agenda was adopted.

### 3. Information from IEA ExCo AFC

Remzi Can Samsun gave a detailed presentation of IEA TCP AFC on behalf of the TCP chair Detlef Stolten; please refer to the website for the presentation of Remzi Can Samsun ([1\\_Introduction AFC TCP Annex 33 Meeting.pdf](#)).

### News from IEA:

- Global Outlook was launched during 10th Clean Energy Ministerial and 4th Mission Innovation Ministerial in Vancouver during May 27-29, 2019
- Hydrogen Report was launched during the G20, June 15 2019

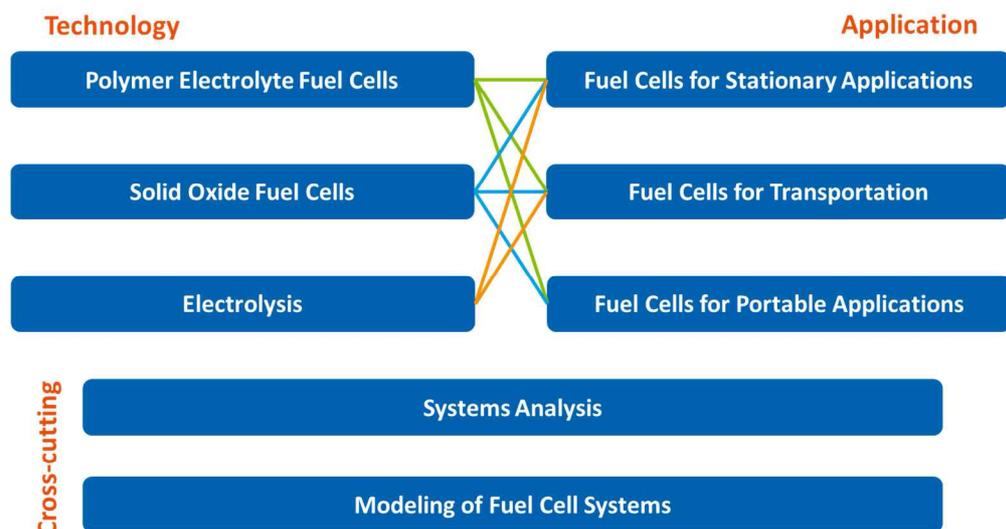


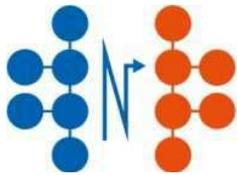
# IEA Technology Collaboration Programme Advanced Fuel Cells

- IEA created a new logo. The new identity reflects the IEA's modernization agenda, global policy role, and mission to shape a more secure and sustainable energy future for all. The new IEA brand will extend to all programmes, starting with TCPs. In line with IEA digital strategy, IEA has updated the TCP website and created new individual pages for each collaboration programme
- There are 38 TCPs operating today involving about 6000 experts worldwide, who represent nearly 300 public and private organizations located in 55 countries, including many from IEA Association countries such as China, India and Brazil
- The vision of TCP AFC has been presented: contribute to opportunities and challenges to fuel cell research, development and commercialization.
- Annexes are asked to show the contribution to the growth of the technologies, showing the priorities in different countries. It is fundamental now to show the added value from all the Annexes.
- Annexes are asked to:
  - Product reports to be published on the TCP AFC website
  - Identify possible Annexes and TCPs where we can have a fruitful exchange of information and where FC can play a fundamental role
  - Organize WS with other Annexes and TCPs

The current list of Annexes and Operating Agents in IEA AFC TPC is:

Annex 30: Electrolysis	Germany	Marcelo Carmo, Forschungszentrum Jülich GmbH
Annex 31: PEFC	USA	Di-Jia Liu, Argonne National Laboratory
Annex 32: SOFC	Finland	Jari Kiviaho, VTT
Annex 33: Stationary	Italy	Viviana Cigolotti, ENEA
Annex 34: Transport	USA	Rajesh Ahluwalia, Argonne National Laboratory
Annex 35: Portable	Italy	Fabio Matera, CNR-ITAE
Annex 36: Systems Analysis	USA and Germany	Nancy Garland, Department of Energy and Remzi Detlef Stolten, Forschungszentrum Jülich GmbH
Annex 37: Modeling	Germany	Steve Beale, Forschungszentrum Jülich GmbH





# IEA Technology Collaboration Programme

## Advanced Fuel Cells

### 4. Annex 33 Fuel Cell for Stationary Applications

Viviana Cigolotti presented Annex 33 following the new Workplan 2019-2014; please refer to the website for the presentation of Viviana Cigolotti ([2\\_Annex33\\_Cigolotti.pdf](#)).

Annex 33 is an application-type annex with the objective to better understand how stationary fuel cell systems may be deployed successfully in energy systems. The work focuses on the market requirements for fuel cells in stationary applications; both opportunities and obstacles are investigated and discussed. Market development is followed closely with a special focus on fuels, environment and competitiveness. This Annex will focus on information sharing and learning between experts with knowledge and experience on fuel cells technologies for stationary applications, and it is led by 4 Subtasks:

**Subtask 1** Small stationary fuel cells. This subtask will handle markets for residential stationary fuel cells, where there is a viable economic and environmental case, analysing how the market varies between countries, including energy prices and the framework for the use and production of electricity and heat. In this subtask the mission is to investigate market possibilities and viability for small residential stationary fuel cells as well as residential fuel cells for larger buildings. The work in the Subtask includes comparison between different technologies ICE engines, Stirling engines, PEFC and SOFC.

The main participants in Subtask 1 are: Japan with Panasonic, AISI Seiki and Toshiba, and Italy with SolidPower. Also Germany, France and Korea have a special interest in this subtask. This subtask is led by Japan.

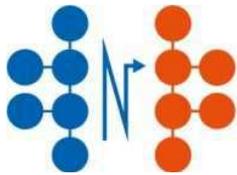
**Subtask 2** The implementation New Directives and Regulations. This subtask will handle the implications for stationary fuel cells caused by the introduction of new Directives or relevant legal regulations and standards. Effects on the increase of fuel cell competitiveness will be discussed to provide IEA-qualified input to the ongoing regulatory processes, elaborating recommendations and justifications as needed. There are several new directives regarding energy issues that will influence the future market for fuel cells. The Subtask will first focus on Europe but also other region will be dealt with.

All the participants are involved in this subtask. This subtask is led by the Austrian Energy Agency.

**Subtask 3** Large scale fuel cell applications. This subtask will handle the analysis of technology and market development of large fuel cell plants. These are often used in parallel with the grid in sensitive applications, such as hospitals, banks, offices, warehouses and supermarkets. The state of the art will be studied by analysing user cases in the different IEA Member countries and beyond.

The main participants in Subtask 3 are: USA and Korea. This subtask is led by Korea.

**Subtask 4** Fuel cells in the future energy systems. This subtask will handle the new application for fuel cells in the near future energy systems, and in particular the opportunities concerning the use of renewable fuels and hydrogen, applications for H2 mobility, smart grids, power to gas, and other applications where FCs can play a pioneering role.



IEA Technology Collaboration Programme

# Advanced Fuel Cells

All the participants are involved in this subtask. This subtask is led by Stephan Renz Switzerland.

## 5. Annex 33 Stationary Fuel Cells Subtask reports in the meeting

### Subtask 1 Small stationary fuel cells

Noboru Hashimoto presented the status of small stationary fuel cell applications in Japan; please refer to the website for the presentation of Noboru Hashimoto ([3\\_IEA Annex33\\_Japan.pdf](#)).

The market activities for small stationary fuel cells for residential use have increased significantly on several places. The outstanding region is Japan with now more than 314 000 fuel cells installed within the Ene-Farm program, where of 162 000 Panasonic's PEFC. The actual selling price is 8800 \$/unit for SOFC and 7000 \$/unit for PEFC. For PEFC Ene-Farm, there are no subsidy programs at the moment, but for SOFC Ene-Farm, subsidy is still adapted.

Japan is very active also in the transport sector, where 108 HRS have been opened with 3300 FCV running.

**Panasonic** is one of the three suppliers of microCHP systems in the ENE-Farm program. A new model has been introduced in 2017 and it have already reached 90 000 hr of operations. The new model is more compact and more and lighter than the previous one. The European model developed in cooperation with Viessmann in Germany was launched in April 2014. It has been tested in Ene.field project.

Panasonic presented the new model using hydrogen as a fuel for cogeneration and monogeneration which will be ready for 2021, having a power generation efficiency of 56%.

**SOLID POWER** from Italy is a developer and manufacture of complete SOFC system. SOLID POWER has acquired the German part of CFCL, Ceramic Fuel Cell including the BlueGen and the manufacturing facilities in Germany. In 2019 Solid Power has opened a new production plant in Italy with 50 MW/y planned.

Solid Power has installed 1500 units in 12 countries.

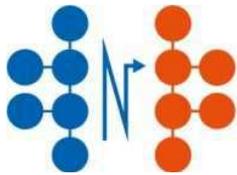
The main product today from SOLID POWER is a 1,5 kWe unit called BluGen BG15. The electric efficiency is high about 60 % AC for the complete system.

SOLID POWER is participating in several EU projects including PACE project, where the objective is to install 10 000 units in 2020.

The next step for SOLID POWER is to develop larger units from 6 kWe based on the existing in house technologies.

Please refer to the website for the presentation of Stefano Modena ([4\\_SP\\_PPT\\_SOFC\\_IEA.pdf](#)).

### Subtask 2 The implementation New Directives and Regulations



# IEA Technology Collaboration Programme Advanced Fuel Cells

Austrian Energy Agency presented the status of this subtask. Please refer to the website for the presentation of Werner Liemberger ([5\\_AEA\\_Annex33\\_Naples.pdf](#)).

The main background of the Subtask is that the upcoming EU regulations and directives strongly influence the market uptake of fuel cell systems. The aim of this Subtask is to identify upcoming opportunities or threats from the implementation of the EU directives and regulations in the various countries.

The directives listed below will be analysed in order to identify the possible impact on the market uptake of fuel cell systems:

- Energy Efficiency (EE) Directive:
- Ecodesign and Labelling Directive:
- Building Directive (EPBD):
- RES renewable Energy Systems Directive

AEA will analyse the different directives and will prepare a report to be share with the other participants.

In particular, a first report on the impact of Ene-Farm concept in Austria will be presented in the next meeting.

### **Subtask 3 Large scale fuel cell applications**

Stephan Renz presented the status of this subtask. Please refer to the website for the presentation of Stephan Renz ([6\\_FC+H2 in Switzerland\\_Renz](#)).

Stephan Renz presented the status of large fuel cell plants in the world, where Korea is still the leader.

### **Subtask 4 Fuel cells in the future energy systems**

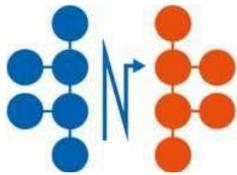
The Operating Agent invited two project to be presented during the meeting, as example of applications where FCs can play a pioneering role.

The **CH2P** and **SWITCH** projects has been presented by Luigi Crema, FBK. Please refer to the website for the presentation of Luigi Crema ([7\\_IEA AFC\\_CH2P\\_CREMA.pdf](#)).

The purpose of the CH2P project is to realize a new technology at high efficiency and limited impact on carbon emissions, able to generate hydrogen and power for use in refuelling stations of the next future impacting the sustainability of the transport sector.

In the project SOFC is used in a new flexible and variable way, including reversible mode in next future; it combines hot and cold components with capacity to reach high efficiency, low costs and highly pure hydrogen production. Using one single technology, it can realize the distribution of all the alternative fuels of the EU – compliant with the DAFI directive SWITCH project is the next step, with the production of green hydrogen in a flexible and reversible way.

The second project has been presented by Prof. Anna Pinnarelli from University of Calabria. Please refer to the website for the presentation of Anna Pinnarelli ([8\\_IEA\\_Pinnarelli.pdf](#)).



## IEA Technology Collaboration Programme

# Advanced Fuel Cells

Anna Pinnarelli presented the new concept of ComEsto project. ComEsto is a research project funded by Italian Ministry of Research, with the aim of addressing the integration of innovative solutions, based on PEM and SOFC technologies, in a nanogrid located in the university campus of Cosenza, Italy. The nanogrid is a hybrid power supply system of nominal power not exceeding 5kW able to integrate several different types of generation and storage systems and operating both in grid-connected and stand-alone configuration.

### 6. Presentations from other countries

#### Germany

Please refer to the website for the presentation of Remzi Can Samsun (*9\_Annex 33\_Germany.pdf*).

A presentation was made of an update from Germany about the status of development of hydrogen and fuel cells technologies: there is an active support of market entry for fuel cell heating systems to stationary fuel cell heating systems for buildings in the range 0.25-5 kWel. The funding considered is a lump sum of € 5 700 basic plus additional funding of € 450 per 100 Wel (total: € 6,825 to € 28,200). The potential applications covered are private households, companies and municipalities. The program covers PEFC and SOFC technologies, with electrical power in the range 205 W – 1500 W and electrical efficiency 34% - 60%. Since 2016, 6,600 systems have already received subsidies (KfW-Programm 433).

Actually the activities on SOFC technology are running fast in Germany. Sunfire GmbH is focusing strategically on sector integration with renewable hydrogen and synthetic fuels at their premises in Dresden to be ready for industrial scale up.

Moreover, the activities and the installation of micro-CHP solutions for residential buildings are still very active with a spread participations of several companies (Hexis, Viessmann, Bosch, Ceres Power, Solid Power).

#### Spain

Please refer to the website for the presentation of Carlos Fúnez Guerra (*10\_AFC-TCP ANNEX33\_Spain.pdf*).

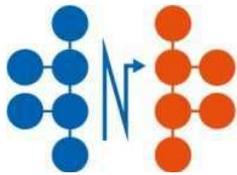
A presentation was made of an update from Spain about the status of development of hydrogen and fuel cells technologies. Carlos Fúnez presented the activities at National Hydrogen Centre (CNH2), focused on hydrogen and fuel cells technologies development covering the whole value chain (laboratories, test benches, experimental stations, cells, storage systems, engineering, security, framework and standardization).

#### USA

Please refer to the website for the presentation of Mark Williams (*11\_2019\_US Fuel Cell Program.pdf*).

A presentation was made of an update from USA about the status of development of hydrogen and fuel cells technologies. The funding remains on the same level and only activities on the SOFC program are covered.

#### California



IEA Technology Collaboration Programme

# Advanced Fuel Cells

Please refer to the website for the presentation of Cory Schumaker (*12\_Fuel Cells for Decarbonization and Resilience.pdf*).

Cory Schumaker made a presentation on behalf of California Stationary Fuel Cell Collaborative. Fuel cells meet California policy priorities by providing baseload power that supports an increased penetration of renewables. Almost 290 MW fuel cell systems running in California today. Several best practice can be cited, for example: Telecommunications Verizon, T-Mobile, AT&T –use large and small fuel cell systems for long-duration backup power with high reliability; Data centres want to reduce emissions, resilient power and create high energy density in a small footprint; Hospitals – fuel cells are OSHPD certified in California (meet all special safety requirements).

In the Town of Woodbridge, Connecticut, a fuel cell microgrid supplies grid and maintains power during outage for 6 critical town buildings. 2.8 MW FuelCell Energy system has blackstart capability and provides heat to a local high school. Critical loads are sequenced by microgrid controller and inverter follows microgrid load.

There are other real installed plants in microgrids located in California.

## 7. Request for data from AFC TCP by IEA

Please refer to the website for the presentation of Viviana Cigolotti (*13\_Annex33\_Cigolotti\_future\_plans.pdf*).

The AFC TCP was not involved in the Hydrogen Report, which was published in June 2019. Afterwards the IEA contacted TCP AFC in August with a request for technical and economic information and market deployment of support / complementary infrastructure for mobile and stationary fuel cells and electrolyzers.

This input is needed for meta-analysis in the IEA and it is important to emphasise to deliver valuable answers (with sources) so that AFC TCP will benefit from this feedback and have a greater impact in the future work with the IEA.

The output should also be published on the AFC TCP website to clearly state the origin.

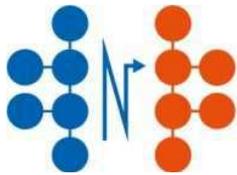
Annex 33 has been involved in the data collection for Stationary fuel cell applications, and in particular:

### Tracking market trends

- Country-level data on current sales and stock of stationary fuel cells in buildings, split between micro-CHP systems and BUP/UPS (the latter being a niche market), by power and/or dimensions, and by technology (PEM/SO FC) whenever available. Price and subsidy data on the sales of these units would also be valuable.
- Recent deployment trends of stationary fuel cell systems in terms of installed capacities and number of units (ideally by fuel cell type, application and country).
- Any available data on H2 boilers using catalytic burners.

### Current and future stationary fuel cell technologies – costs, performance, and potential

- Breakdown of the current costs of PEM/SO FC production for buildings applications over a range of production scales and at representative specifications, as well as broken down by component / material.



IEA Technology Collaboration Programme

# Advanced Fuel Cells

- Estimates of FC system durability that are maximally representative of (or easily translatable to) common use cycles
- Potential for cost reductions and performance / durability improvements at a component / system level.
- Strategies, and associated costs and risks, of reducing costs and improving performance of a number of the components of FC stacks (e.g. bipolar plates, membranes, reducing the platinum load of catalysts, gas diffusion layers).

Any further qualitative or contextual information on the above topics that members and representatives of the AFC TCP judge to be of value in enriching the IEA secretariat analysts' grasp of technical / economic fundamentals or considerations would be welcome.

The Operating Agent, Viviana Cigolotti, will share as soon as possible an excel file with the requested data from different countries asking their valuable contribution.

## **8. Next meetings**

The next meeting has been planned to take place in Switzerland in July 2020, during the European Fuel Cell Forum, Lucerne 30 June - 3 July 2020.

The meeting will be organized as joint meeting with Annex 32 – SOFC and the exact date will be shared asap.

A suggestion is to organize a meeting every 8 months trying to meet during scientific conferences as in this case.

The next meeting in 2021 could take place in February in Japan in connection with the Fuel Cell Expo in Tokyo. Noboru Hashimoto will investigate and see if it is possible.

Solid Power is also available to organize a meeting in the near future.

添付資料4-2

2019年度 海外出張報告書

報告書作成日 2020年2月3日

1. 事業名	燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査
2. 団体名	一般社団法人 日本電機工業会
3. 出張目的	サザン・カリフォルニア・ガスとの打合せによるカリフォルニアでの燃料電池市場の調査
4. 出張者	東芝、京セラ、パナソニック
5. 出張先	ロサンゼルス

6. 日程：

2020年1月26日(日) 日本発 ロサンゼルス着

2020年1月27-28日 VX2020 およびサザン・カリフォルニア・ガスとの打合せ

2020年1月29日(水) ロサンゼルス発 日本帰国

7. 出張概要

7.1 出張の背景と目的

山火事やその他の原因による停電時の電力供給として燃料電池の導入に期待しているサザン・カリフォルニア・ガスと情報交換をし、カリフォルニアを含む北米での定置用燃料電池市場に関する調査を行う。

7.2 調査概要

7.2.1 面談概要

日時：2020年1月27日 14:00-15:45

場所：SoCalGas 社内会議室

面談者：サザン・カリフォルニア・ガス

P. B. 氏 Clean Transportation Business Dev.Manager

J. L. 氏 Market Development Manager

M. G. 氏 Technology Development Manager

日本側：NEDO

東芝：

京セラ：

パナソニック：

7.2.2 各社の紹介

(1) SoCalGas 社の紹介

事業概要の紹介および山火事や地震などの災害時の電力確保への燃料電池活用への期待について

(2) パナソニックにおけるエネファームに関する活動状況

プレゼン資料（添付－1）により紹介

- ・エネファームの販売実績
- ・パナソニックのエネファームの特徴
  - 停電時の機動性、起動停止信頼性、部分負荷
- ・1<sup>st</sup>モデルから最新モデルへの技術進化
- ・欧州展開
- ・水素社会に向けた取組み

(3) 東芝における水素形燃料電池の開発状況

プレゼン資料（添付－2）により紹介

- ・東芝の燃料電池開発は 40 年の歴史があり初期は PAFC、現在は PEFC
- ・現在は純水素燃料電池システムを製造販売
- ・純水素燃料電池システムの特長（高速負荷変化が可能、起動が早い）
- ・広いラインナップ有（700W、3.5kW、100kW）

(4) 京セラにおける SOFC 形燃料電池の開発状況

- ・円筒平板型 SOFC セルとスタックを独自開発。セル自体でのガスシール／熱応力に強い構造で SOFC の弱点である温度変化による破壊などの信頼性を向上
- ・京セラスタックを搭載したアイシンの 700WSOFC システムを大阪ガスから販売
- ・京セラも 400W システムを開発し、東京ガスで販売。

### 7.2.3 質疑（SoCalGas よりの質問）

Q:コストダウンは量産効果によるものか？

A:量産効果のみならず基幹部品の改良等による

Q：システムの熱電比は変えることが出来るのか？

A:できない

Q:発表者間で発電効率に違いがあるのはなぜか？

A：燃料電池のタイプ（PEFC,SOFC）および使用燃料（天然ガス、水素）の違いによる

Q：水素機が負荷変動に強い理由は何か？

A:燃料改質装置がない為

Q:燃料水素の濃度はどれぐらいか？

A:99.99%

Q:水素供給が必要だが商用化されているのか？

A：電解工場や水素パイプラインのある場所で限定的に実証試験運用中

Q:モノジェネ運用の時、熱はどうするのか？

A：ラジエータにより放熱する

Q:京セラ機は 400W 定格一定運転なのか？ベースロードのイメージ？

A：負荷追従運転をしている。

Q：京セラ機は、夜中も負荷追従なのか？出力が低くなるが運転出来ないだろう？

A：夜中も 100W,200W でも負荷追従運転が可能

また SoCalGas より、ネットワーク制御などの検討も考えたいとの意見があった。

## **8. 今後の予定**

NEDO と SoCalGas で次回の具体的な議論点を明確にした上で、今年夏頃を目処に次回打合せを設定することとなった。

定置用燃料電池システムのライフサイクル  
評価に関する調査 報告書

2019年2月

**みずほ情報総研株式会社**  
Mizuho Information & Research Institute, Inc.

名称：定置用燃料電池システムのライフサイクル評価に関する調査

[作成] みずほ情報総研株式会社 環境エネルギー第2部 環境エネルギー政策チーム

〒101-8443 東京都千代田区神田錦町 2-3

TEL : 03-5281-5329 FAX : 03-5281-5466

URL : <https://www.mizuho-ir.co.jp/index.html>

E-mail : yasushi.furushima@mizuho-ir.co.jp, hiroyuki.uchida@mizuho-ir.co.jp

## 目次

1. はじめに.....	1
2. 調査の目的の設定.....	2
2.1 意図する用途.....	2
2.2 調査をするための理由.....	2
2.3 意図する伝達先.....	2
3. 調査範囲の設定.....	3
3.1 調査対象の製品システム.....	3
3.2 機能単位.....	5
3.3 システム境界.....	6
3.4 配分の手順.....	7
3.5 前提条件.....	7
4. ライフサイクルインベントリ分析.....	11
4.1 素材・部品製造段階.....	11
4.2 システム製造段階.....	28
4.3 システム使用段階.....	29
4.4 システム廃棄処理段階.....	29
5. ライフサイクル影響評価.....	31
5.1 CML.....	31
5.2 環境フットプリント.....	43
5.3 ReCiPe.....	55
6. 結果の解釈.....	67
6.1 感度分析.....	67
6.2 結果の解釈.....	72
7. まとめ.....	75
8. 参照資料.....	76



## 1. はじめに

本調査は、一般社団法人日本電機工業会（JEMA）が NEDO 委託調査「燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査」において行う、燃料電池システムを対象としたライフサイクルアセスメント（LCA）のうち、JEMA が提供するデータを基に LCA 用市販ソフトウェアを用いた計算によりイベントリ分析、環境影響評価、ホットスポット分析を行うものである。

燃料電池技術は環境負荷の低減の観点において最も貢献するものと目されており、我が国では温室効果ガス排出量の抑制の観点からエネルギー効率の向上に重点が置かれてきたが、環境先進地域である欧州では、既にエネルギー効率の向上のみならず資源枯渇、酸性雨、大気汚染、人間毒性等、様々な環境影響を考慮したマルチクライテリアでの評価が進められている。今後我が国が開発、保有している燃料電池技術のグローバルな事業展開を検討する上では、このような環境影響評価を考慮することは不可欠である。

以上のような背景を踏まえ、本調査では評価の対象を都市ガス改質形エネファームとし、マルチクライテリアの評価を実施した。

## 2. 調査の目的の設定

### 2.1 意図する用途

家庭用燃料電池を対象としたライフサイクル影響評価及びホットスポット分析の実施を通して、ライフサイクル影響評価手法の簡易化の方向性を検討する際の参考となる情報を提供することが、本調査の意図する用途である。

### 2.2 調査をするための理由

家庭用燃料電池を評価対象製品、気候変動や非生物資源枯渇等の複数の環境影響領域を評価指標としたライフサイクル影響評価を実施し、その結果を基にホットスポット分析を行うことで、重要度の高い環境影響領域やプロセスを特定することを目的とする。

### 2.3 意図する伝達先

本調査は NEDO 委託調査「燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査」の一環として行うものであり、意図する伝達先は NEDO 次世代電池・水素部 燃料電池・水素グループである。

### 3. 調査範囲の設定

#### 3.1 調査対象の製品システム

本調査で評価対象とする定置用燃料電池システムの仕様は、みずほ情報総研 [2008] の記載内容や JEMA から提供を受けた情報を基に表 3-1 の通りとした。

表 3-1 評価対象とする定置用燃料電池システムの仕様

項目	仕様数値	根拠
燃料電池種別	固体高分子形 (PEFC)	
利用形態/設置形態	家庭用/屋外基礎据付	
使用年数	10 年	みずほ情報総研 [2008]
燃料電池ユニット		
発電効率 (定格)	39.0%(HHV)/35.2% (LHV)	JEMA ご提供情報
熱回収効率 (定格)	56.0%(HHV)/50.6% (LHV)	JEMA ご提供情報
総合効率 (定格)	78%(HHV)	みずほ情報総研 [2008]
電気利用率 (実運転)	30.8%(HHV)	みずほ情報総研 [2008]
熱利用率 (実運転)	41.3%(HHV)	みずほ情報総研 [2008]
総合効率 (実運転)	72.1%(HHV)	みずほ情報総研 [2008]
運転方式	電力負荷追従 熱負荷充当	
ターンダウン	0.3	みずほ情報総研 [2008]
使用燃料種	都市ガス 13A	
定格出力	1kW	
システム構成機器	燃料電池スタック 改質器 インバータ 排熱回収装置 熱交換器 配線・ケーブル イオン交換塔 ケース	
貯湯ユニット		
貯湯タンク容量	140L	JEMA ご提供情報
貯湯温度	約 60℃	JEMA ご提供情報
水道水温度	17℃	みずほ情報総研 [2008]
導入対象先	戸建て住宅/集合住宅 (1世帯あたりで評価)	
使用年数	10 年	

項目	仕様数値	根拠
システム構成機器	貯湯槽 バックアップバーナー	

表 3-1 に示した仕様を満たすシステムとして、みずほ情報総研 [2008] の記載内容や JEMA から提供を受けた情報を基に、本調査で評価対象とする定置用燃料電池システムの素材構成を表 3-2 (改質器)、表 3-3 (燃料電池スタック)、表 3-4 (システム全体) の通りとした。

表 3-2 改質器の素材構成

		材質、組成		質量 [kg]	出典、備考
触媒	改質触媒	Ru/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ru : 3wt%	0.460	JEMA ご提供情報
	シフト触媒	Cu-Zn/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO : 40wt% ZnO : 50wt% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 10wt%	2.00	JEMA ご提供情報
	選択酸化触媒	Ru/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ru : 0.4wt%	0.400	JEMA ご提供情報
筐体		ステンレス		14.1	計算値
合計				17.0	JEMA ご提供情報

表 3-3 燃料電池スタックの素材構成

素材名			質量 [kg]	出典、備考
固体高分子膜	膜	パーフルオロスルホン 酸系電解質膜	0.11	みずほ情報総研 [2008]
	バインダ	パーフルオロスルホン 酸系樹脂	0.008	みずほ情報総研 [2008]
電極 (拡散層)		炭素繊維	0.50	みずほ情報総研 [2008]
触媒	白金	白金	0.004	JEMA ご提供情報
	カーボンブラック	カーボンブラック	0.008	みずほ情報総研 [2008]
セパレータ		人造黒鉛	4.8	みずほ情報総研 [2008]
		フェノール樹脂	1.2	みずほ情報総研 [2008]
シール		フッ素ゴム	0.25	みずほ情報総研 [2008]
集電板		銅	2.7	みずほ情報総研 [2008]
端板		ステンレス	6.3	みずほ情報総研 [2008]
その他周辺部品		鉄	4.1	みずほ情報総研 [2008]
合計			20.0	計算値

表 3-4 定置用燃料電池システム全体の素材構成

			質量 [kg]	出典、備考	
燃料電池 ユニット	燃料電池スタック		20.0	表 3-2	
	改質器		17.0	表 3-3	
	その他	インバータ	鉄	3.8	みずほ情報総研 [2008]
			アルミ	0.9	みずほ情報総研 [2008]
			その他非鉄	0.4	みずほ情報総研 [2008]
			樹脂	1.2	みずほ情報総研 [2008]
		ポンプ、ブローア	鉄	9.5	みずほ情報総研 [2008]
		熱交換器	鉄	8.0	みずほ情報総研 [2008]
		排熱回収装置	鉄	8.0	みずほ情報総研 [2008]
		配線・ケーブル <sup>1</sup>	銅	5.7	みずほ情報総研 [2008]
			樹脂 (PVC)	4.3	みずほ情報総研 [2008]
		ケース	鉄	30.0	みずほ情報総研 [2008]
		イオン交換等 (水処理装置)	鉄	3.6	みずほ情報総研 [2008]
燃料電池ユニット 計			112.4	計算値	
貯湯 ユニット	貯湯槽	鉄	47.4	総重量：JEMA ご提供情報 素材構成：部品、その他の 重量はみずほ情報総研 [2008] と同様とし、それ 以外の素材の構成比はみ ずほ情報総研 [2008] に準 じた	
		部品、その他	2.6		
	バックアップバーナー	鉄	23.2		
		アルミ	2.4		
		その他非鉄	9.9		
		樹脂	1.1		
		部品、その他	1.4		
	貯湯ユニット 計				88.0
合計			200.4	計算値	

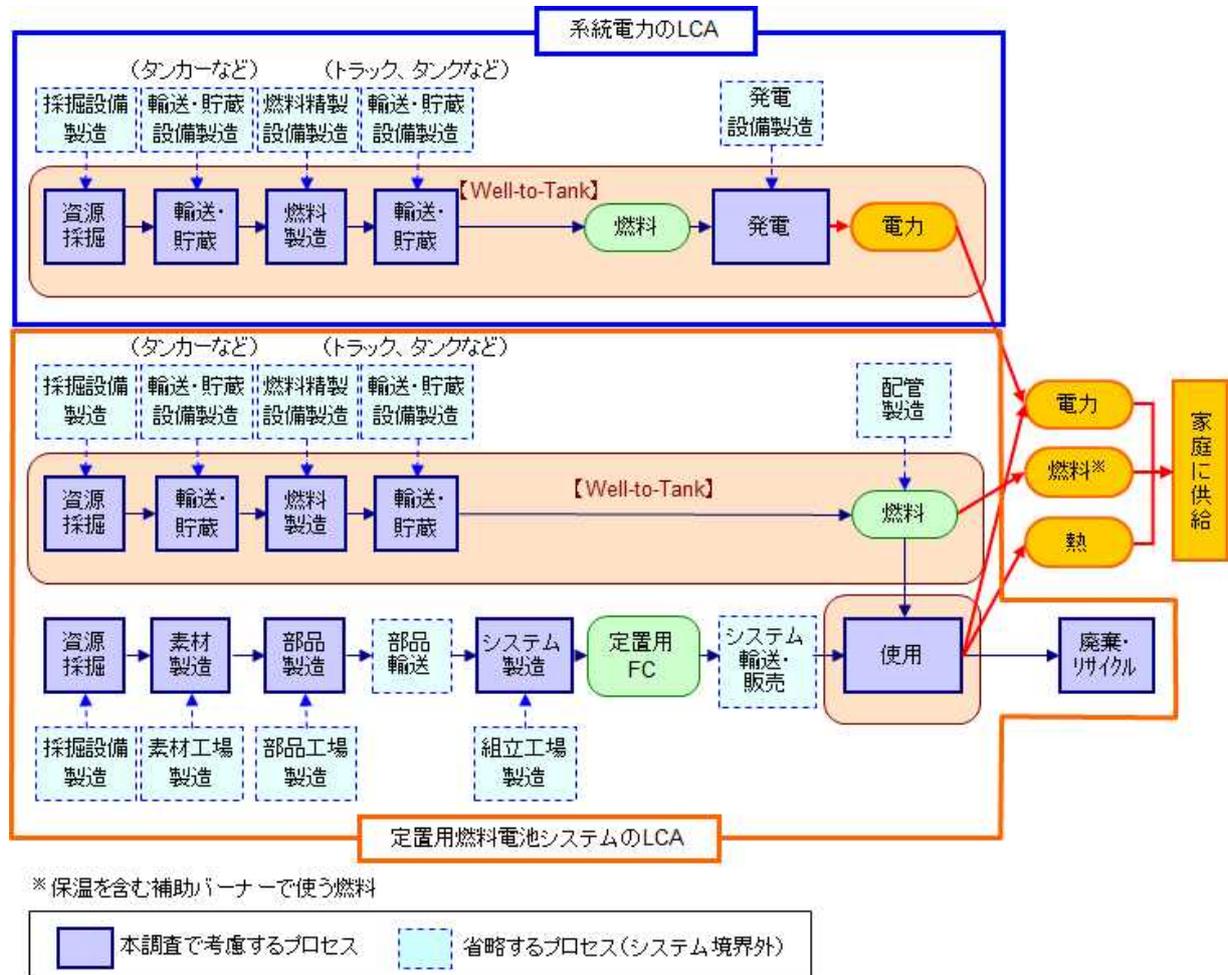
### 3.2 機能単位

本調査で評価の対象とする定置用燃料電池システムの機能単位は、システム 1 台が一般家庭における電力及び給湯の需要を使用年数 (表 3-1 より 10 年) の間満たすこと、とした。一般家庭における電力及び給湯の需要量については、建築研究所 [2017] において設定された日本の中間期 (春・秋) 又は夏期の標準住宅における需要量を採用した。

<sup>1</sup> みずほ情報総研 [2008] では配線・ケーブル (10kg) の構成素材を全て鉄としているが、正しくは非鉄 (銅) が 5.7kg、樹脂 (PVC) が 4.3kg である。

### 3.3 システム境界

本調査における定置用燃料電池システムのシステム境界は、みずほ情報総研 [2008] の記載内容に従い図 3-1 の通りとした。



尚、本調査においては、カットオフは実施していない。また本調査で参照したみずほ情報総研 [2005] 及びみずほ情報総研 [2008] の 2 つの報告書でのカットオフの考え方は表 3-5 の通りとされていることから、燃料電池本体を構成する素材及び部品に対してはカットオフは行われていないといえる。

表 3-5 みずほ情報総研 [2005] 及びみずほ情報総研 [2008] におけるカットオフの考え方

参考文献	カットオフの考え方
みずほ情報総研 [2005] (燃料電池自動車を対象とした評価)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 比較対象であるガソリン車に対して、投入重量が 1kg 未満の素材や部品をカットオフ</li> <li>・ 燃料電池自動車については、重量比に関係なく、ガソリン車と同じ素材や部品をカットオフ               <ul style="list-style-type: none"> <li>－ 燃料電池自動車に固有の素材や部品に対しては、カットオフは行っていない</li> </ul> </li> </ul>
みずほ情報総研 [2008] (定置用燃料電池を対象とした評価)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 比較対象であるガス給湯器に対して、全投入量（約 20kg）の 0.2% 未満（40g 未満）である素材や部品を製造するプロセスをカットオフ</li> <li>・ 定置用燃料電池システムについては、バックアップバーナーとして上記のガス給湯器をそのまま搭載し、その部分のカットオフはガス給湯器にならうものとした</li> <li>・ その他の部品については、特別にカットオフなどの操作は行っていない</li> </ul>

### 3.4 配分の手順

配分の手順については、本調査では ISO14044 において規定されている以下の優先順位を採用するものとした。

- ① プロセスの細分化による配分の回避
- ② 物理的關係に基づく配分
- ③ 経済価値等、その他の關係に基づく配分

### 3.5 前提条件

3.2 で示した機能単位に関連して、システムは基本的には電力需要に応じて稼働するものとした。また貯湯槽が満杯になった場合への対応として、以下の 3 つのシナリオを設定した。

- ① システムの稼働を停止する
- ② 湯を捨てて電力需要に応じた稼働を続ける
- ③ 湯を捨てて稼働を続けるが、最大出力を 500W まで低下させる

システムの稼働状況により電力及び給湯の供給量が需要量を満たさない場合は、電力については系統電力、給湯についてはバックアップバーナー（都市ガス利用）を用いて需要を満たすものとした。

以上の条件を基にシステムを 10 年間稼働させた場合の電力及び都市ガスの消費量を表 3-6 に示す。これらのデータは建築研究所 [2017] を基に行ったシミュレーションの結果であり、本調査の実施にあたり JEMA よりご提供いただいたものである。

表 3-6 電力及び都市ガスの消費量 一覧

		都市ガス消費量 [MJ]	電力消費量 [kWh]
中間期（春・秋）	①	1,253,760	12,936
	②	1,260,884	11,445
	③	1,233,155	17,247
夏期	①	362,937	36,526
	②	378,179	35,035
	③	287,161	43,935

1日の消費電力及び給湯需要の推移は、それぞれ図 3-2（中間期）及び図 3-3（夏期）の通りとなる。

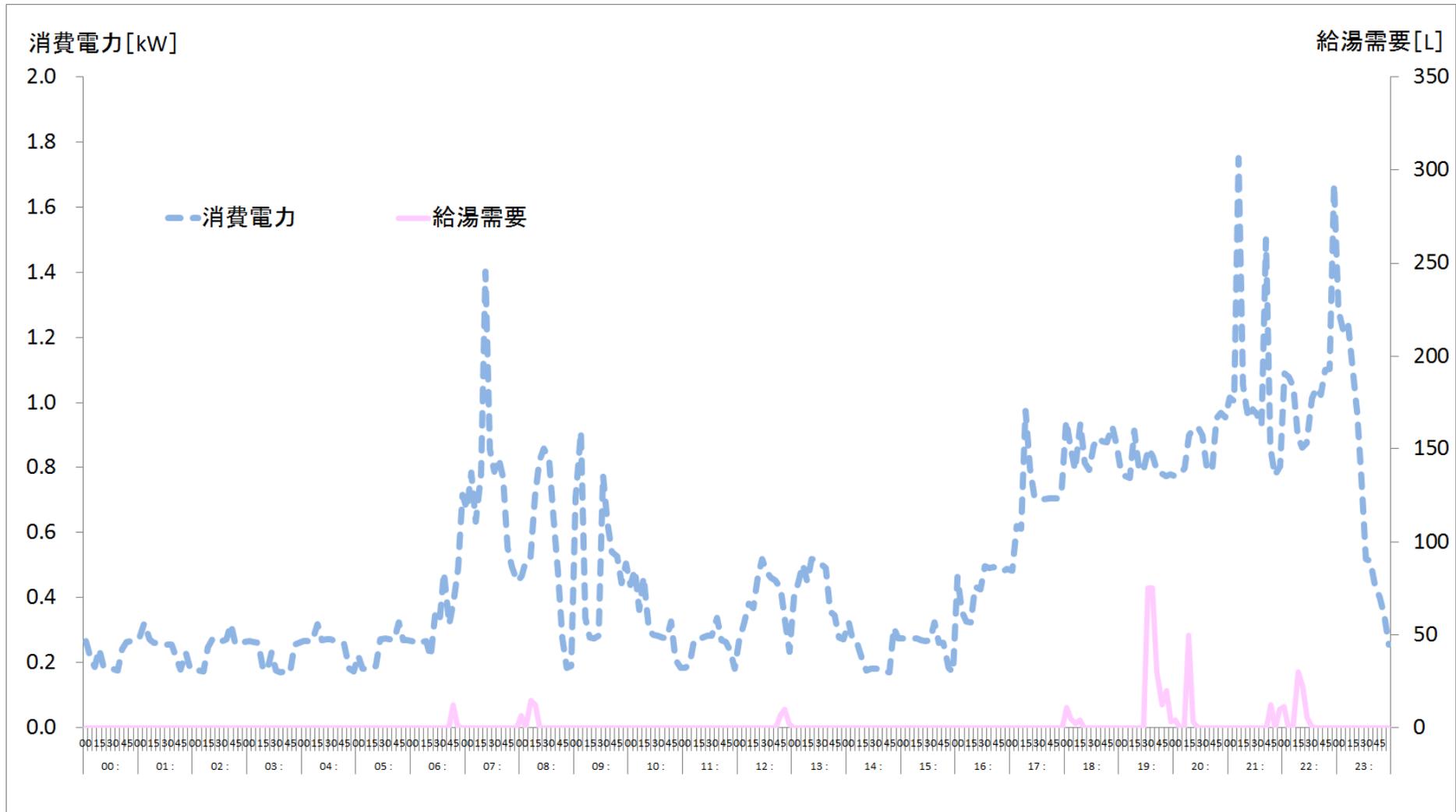


図 3-2 中間期における 1 日の消費電力及び給湯需要

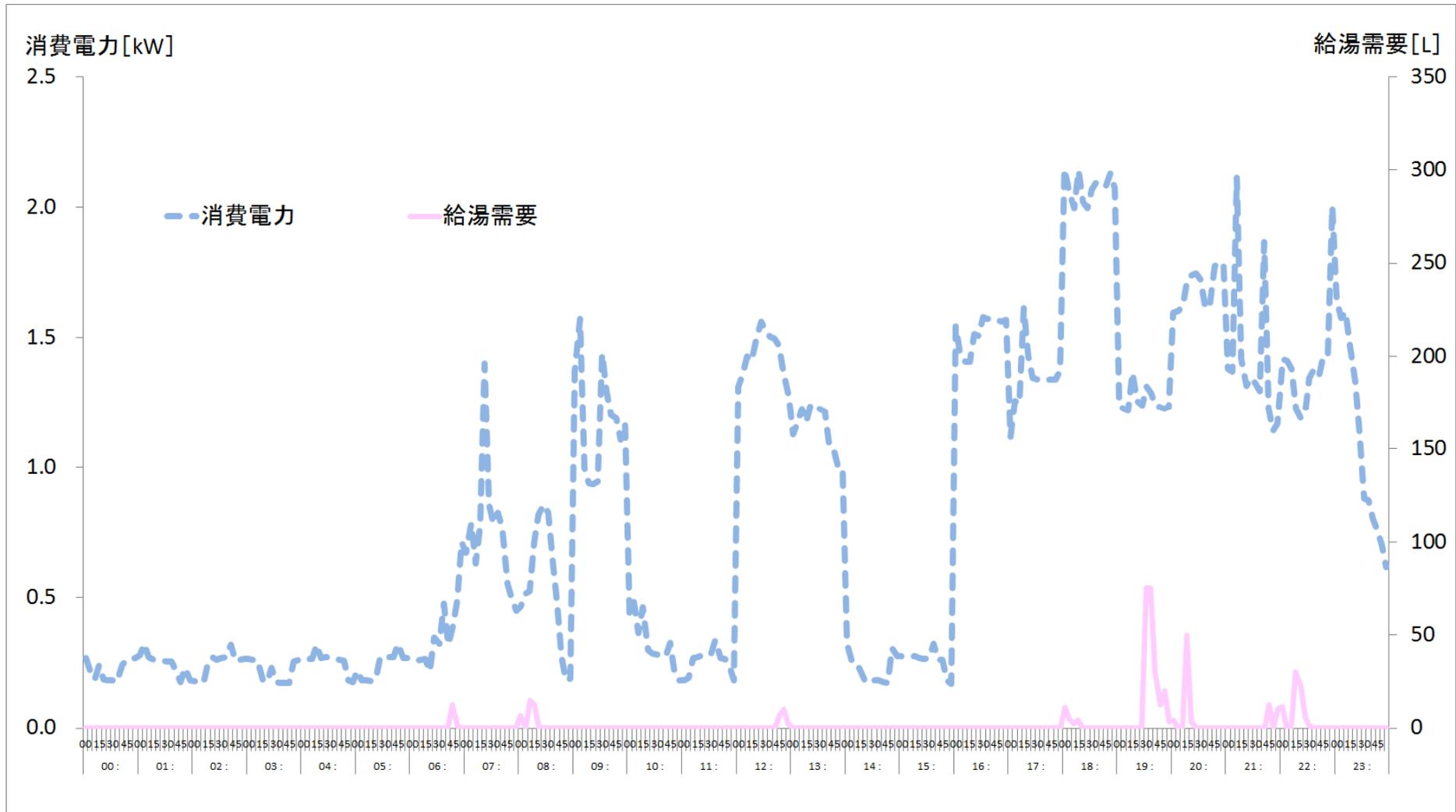


図 3-3 夏期における 1 日の消費電力及び給湯需要

## 4. ライフサイクルインベントリ分析

ここでは、本調査におけるライフサイクルインベントリ分析の実施にあたり設定したプロセスの入出力情報及び二次データへの対応付けについて示す。

尚、本調査では、二次データとして ecoinvent version 3.4 (“allocation, at point of substitution”モデル) を、また LCA ソフトウェアとして SimaPro version 8.5.2.0 を採用した。SimaPro を使用した評価結果の算出にあたっては、インフラ製造プロセスは除外する設定で計算を行った。

### 4.1 素材・部品製造段階

#### 4.1.1 固体高分子膜

本調査では、固体高分子膜としてパーフルオロスルホン酸系電解質膜の適用を想定した。パーフルオロスルホン酸系電解質膜の製造プロセスフローを図 4-1 に示す。

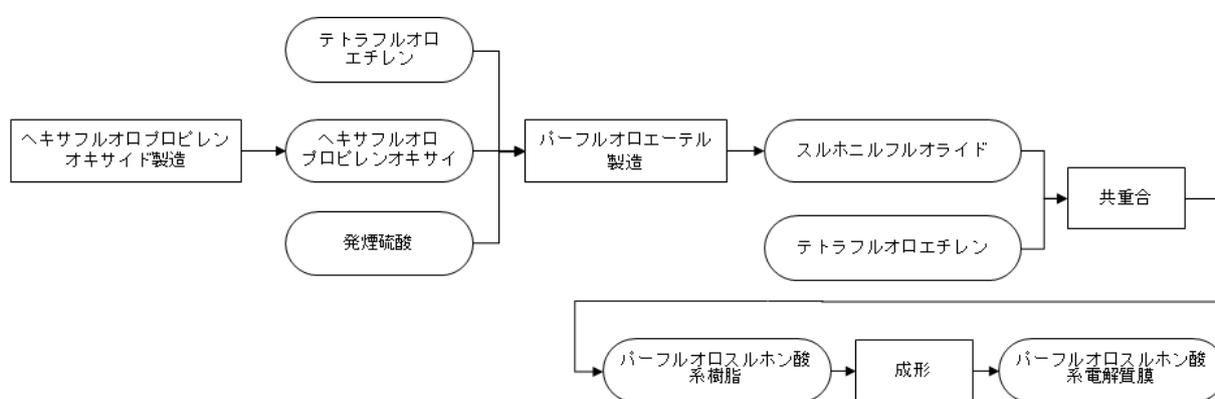


図 4-1 パーフルオロスルホン酸系電解質膜の製造プロセスフロー

ヘキサフルオロプロピレンオキシド製造プロセスの入出力情報は、みずほ情報総研 [2005] を参照した。ただし、みずほ情報総研 [2005] では燃料としてナフサを計上しているが、本調査では天然ガス由来の工業用熱供給を採用するものとし、ナフサの重量から低位発熱量への返還については以下の各パラメーターを適用した。

- ・ ナフサの比重 : 0.7274kg/L (出典: NEDO, JEMAI [1995])
- ・ ナフサの高位発熱量 : 33.6MJ/L (出典: 環境省 [2015])
- ・ 発熱量の換算係数 : 0.93 (出典: 日本エネルギー経済研究所 [1999])

尚、燃料用途のナフサの取り扱いについては、以後の各プロセスでもこれらのパラメーターを用いて換算し、二次データには天然ガス由来の工業用熱供給を適用した。

以上の内容を基に、本調査で設定したヘキサフルオロプロピレンオキシド製造プロセスの入出力情報を、適用した二次データを含め表 4-1 に示す。

表 4-1 ヘキサフルオロプロピレンオキサイド製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	CHCl <sub>3</sub>	0.749 kg	Trichloromethane {GLO}  market for
	HF	0.251 kg	Hydrogen fluoride {GLO}  market for
	酸素	0.096 kg	Oxygen, liquid {GLO}  market for
投入エネルギー	ナフサ	0.003 kg (0.128 MJ)	Heat, district or industrial, natural gas {GLO}  market group for
	電力	0.0004 kWh	Electricity, high voltage {GLO}  market group for
生産物	ヘキサフルオロプロピレンオキサイド	1.000 kg	—

スルホニルフルオライド基含有パーフルオロエーテル製造プロセスの入出力情報についても、みずほ情報総研 [2005] を参照した。その内容及び適用した二次データを表 4-2 に示す。尚、副生する O=CF<sub>2</sub> については、みずほ情報総研 [2005] に従い製品とは考えず、入出力量の配分は行わなかった。

表 4-2 パーフルオロエーテル製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	テトラフルオロエチレン	0.224 kg	Tetrafluoroethylene {GLO}  market for
	テトラフルオロプロピレンオキサイド	0.744 kg	表 4-1
	無水硫酸	0.179 kg	Sulfur trioxide {GLO}  market for
投入エネルギー	ナフサ	0.011 kg (0.47 MJ)	Heat, district or industrial, natural gas {GLO}  market group for
生産物	スルホニルフルオライド基含有パーフルオロエーテル	1.000 kg	—
副生物	O=CF <sub>2</sub>	0.148 kg	—

パーフルオロスルホン酸系樹脂は、スルホニルフルオライド基含有パーフルオロエーテルとテトラフルオロエチレンを共重合（乳化重合、もしくは懸濁重合）させることで製造され

る。この共重合プロセスの入出力情報も、同様にみずほ情報総研 [2005] を参照した。その内容及び適用した二次データを表 4-3 に示す。

表 4-3 共重合プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	スルホニルフルオライド基含有パーフルオロエーテル	0.471 kg	表 4-2
	テトラフルオロエチレン	0.529 kg	Tetrafluoroethylene {GLO}  market for
投入エネルギー	ナフサ	5.000 kg (215 MJ)	Heat, district or industrial, natural gas {GLO}  market group for
	スチーム	70.000 kg	Steam, in chemical industry {GLO}  market for
生産物	パーフルオロスルホン酸系樹脂	1.000 kg	—

パーフルオロスルホン酸系電解質膜は、パーフルオロスルホン酸系樹脂を成形することで製造される。またその成形方法は、みずほ情報総研 [2005] によれば押し出し成形あるいはキャスト成膜であるとされている。本調査では、本プロセスの入出力情報として LCA プロジェクトデータ (JLCA [2018]) の「樹脂の押し出し加工」(データ ID : 000796) のデータを採用した。その内容及び適用した二次データを表 4-4 に示す。

尚、固体高分子膜のバインダについても、パーフルオロスルホン酸系電解質膜と同様のプロセスで製造されるものとした。

表 4-4 成形プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	パーフルオロスルホン酸系樹脂	1.043 kg	表 4-3
投入エネルギー	電力	0.901 kWh	Electricity, high voltage {GLO}  market group for
生産物	パーフルオロスルホン酸系電解質膜	1.000 kg	—
廃棄物	固形廃棄物	0.043 kg	Waste plastic, mixture {RoW}  treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration

#### 4.1.2 触媒

燃料電池スタックに用いられる典型的な触媒の製造プロセスフローを図 3-1 に示す。

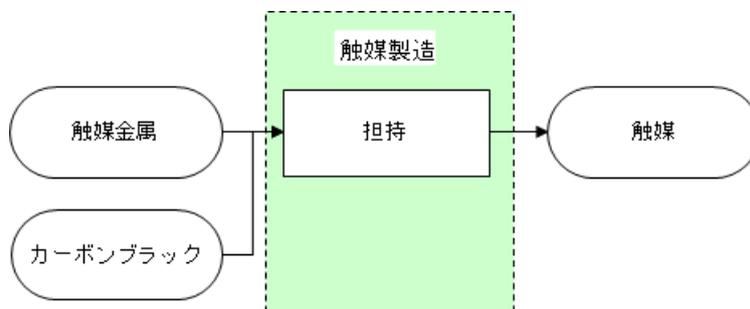


図 4-2 触媒の製造プロセスフロー

触媒製造プロセスの入出力情報については、みずほ情報総研 [2005] を参照した。ただし、触媒金属として用いられる白金とカーボンブラックの投入重量の比率は、JEMA よりご提供いただいた情報に従った。触媒製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-5 に示す。

表 4-5 触媒製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	白金	0.333 kg	Platinum {GLO}  market for
	カーボンブラック	0.667 kg	Carbon black {GLO}  market for
	塩酸 (HCl)	1.682 kg	Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RoW}  market for
	硝酸 (HNO <sub>3</sub> )	0.308 kg	Nitric acid, without water, in 50% solution state {GLO}  market for
	アンモニア (NH <sub>3</sub> )	0.116 kg	Ammonia, liquid {RoW}  market for
生産物	触媒	1.000 kg	—

#### 4.1.3 拡散層

本調査では、拡散層としてカーボンペーパーの適用を想定した。拡散層の製造プロセスフローを図 4-3 に示す。

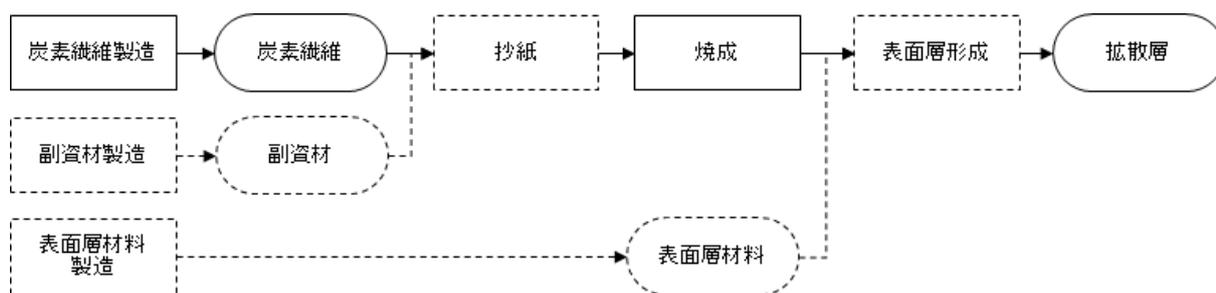


図 4-3 拡散層の製造プロセスフロー

尚、みずほ情報総研 [2005] では、副資材製造、抄紙、表面層材料製造、表面層形成の 4 つのプロセス（図 4-3 中の破線の箇所）は環境負荷が充分小さいとして無視をしていることから、本調査においてもこれらのプロセスに係る環境負荷を無視した。

カーボンペーパーの主原料である炭素繊維の製造プロセスについては、みずほ情報総研 [2005] と同様、日本航空宇宙工業会 [1999] から PAN 系炭素繊維製造プロセスの入出力情報を参照した。その内容及び適用した二次データを表 4-6 に示す。尚、二次データの代替の考え方も日本航空宇宙工業会 [1999] に従った。

表 4-6 PAN 系炭素繊維製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	アクリロニトリル	2.116 kg	Acrylonitrile {GLO}  market for
	コモノマ	0.046 kg	Acrylonitrile {GLO}  market for
	触媒	0.017 kg	Acrylonitrile {GLO}  market for
	溶媒（補給量）	0.069 kg	Acrylonitrile {GLO}  market for
	PAN 油剤	0.011 kg	Propylene glycol, liquid {GLO}  market for
	電解質	0.022 kg	Sulfuric acid {GLO}  market for
	炭素繊維サイズ剤	0.012 kg	Epoxy resin {GLO}  market for epoxy resin
	水	13.703 kg	Water, decarbonised, at user {GLO}  market for
	窒素	11.408 kg	Nitrogen, liquid {RoW}  market for
投入エネルギー	電力	4.58 kWh	Electricity, high voltage {GLO}  market group for
	蒸気	4.2 kg	Steam, in chemical industry {GLO}  market for
生産物	PAN 系炭素繊維	1.000 kg	—
排出物	CO2	1.793 kg	Carbon dioxide, fossil
	NOx	0.001956 kg	Nitrogen oxides

カーボンペーパーの製造にあたっては、添加した副資材を揮発・炭素化させるため、抄紙後に焼成プロセスが施される。焼成プロセスの入出力情報については、みずほ情報総研[2005]を参照した。その内容及び適用した二次データを表 4-7 に示す。

表 4-7 焼成プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	炭素繊維	1.000 kg	表 4-6
	副資材	0.000 kg	—
投入エネルギー	電力	0.865 kWh	Electricity, high voltage {GLO}  market group for
生産物	カーボンペーパー	1.000 kg	—

#### 4.1.4 セパレータ

本調査では、セパレータとしてカーボン樹脂モールドセパレータの適用を想定した。セパレータの製造プロセスフローを図 4-4 に示す。

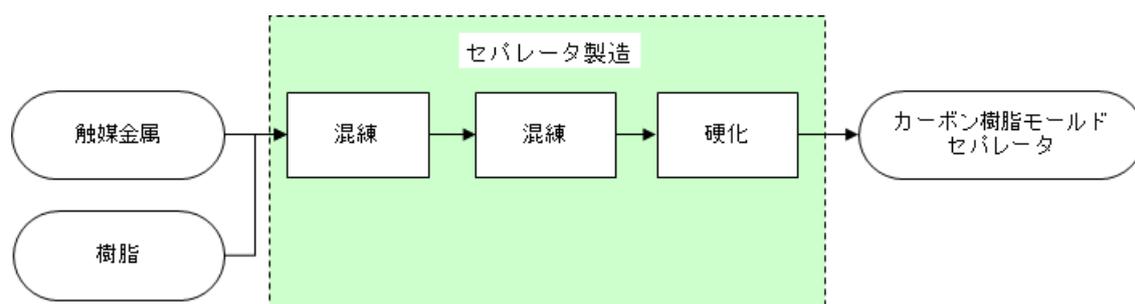


図 4-4 カーボン樹脂モールドセパレータの製造プロセスフロー

セパレータ製造プロセスの入出力情報については、みずほ情報総研 [2005] の記載内容を基に、セパレータの生成量の単位を 1kg あたりに設定し直した。またその際、導電材料と樹脂の投入重量比は JEMA よりご提供いただいた情報に準じた。その内容及び適用した二次データを表 4-8 に示す。

表 4-8 カーボン樹脂モールドセパレータ製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	導電材料	0.800 kg	Graphite {GLO}  market for
	樹脂	0.200 kg	Phenolic resin {GLO}  market for
投入エネルギー	電力	15.000 kWh	Electricity, high voltage {GLO}  market group for
生産物	セパレータ	1.000 kg	—

#### 4.1.5 シール

本調査では、シールとしてふっ素ゴム（テトラフルオロエチレン・プロピレンゴム）シールの適用を想定した。シールの製造プロセスフローを図 4-5 に示す。

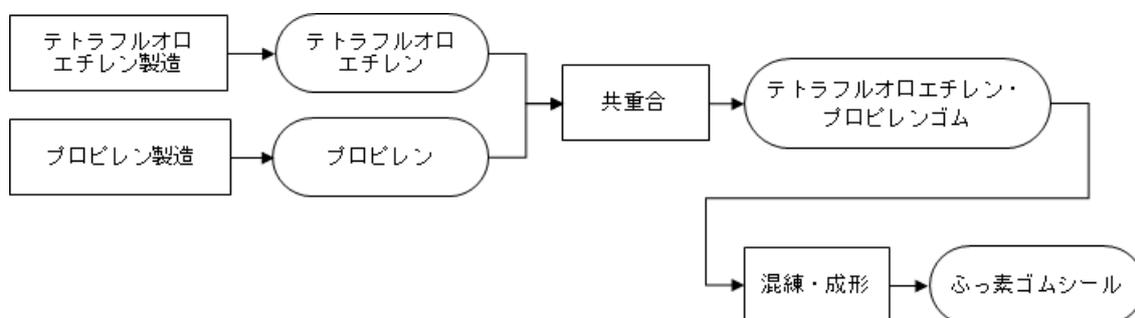


図 4-5 ふっ素ゴムシールの製造プロセスフロー

テトラフルオロエチレンとプロピレンの乳化重合による共重合プロセスの入出力情報は、みずほ情報総研 [2005] を参照した。その内容及び適用した二次データを表 4-9 に示す。

表 4-9 共重合プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	テトラフルオロエチレン	0.744 kg	Tetrafluoroethylene {GLO}  market for
	プロピレン	0.256 kg	Propylene {GLO}  market for
投入エネルギー	電力	0.500 kWh	Electricity, high voltage {GLO}  market group for
	スチーム	7.000 kg	Steam, in chemical industry {GLO}  market for
生産物	テトラフルオロエチレン・プロピレンゴム	1.000 kg	—

ふっ素ゴムをシールに加工する混練・成形プロセスの入出力情報についても、みずほ情報総研 [2005] を参照した。その内容及び適用した二次データを表 4-10 に示す。

表 4-10 混練・成形プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	テトラフルオロエチレン・プロピレンゴム	1.000 kg	表 4-9
投入エネルギー	電力	0.400 kWh	Electricity, high voltage {GLO}  market group for
生産物	シール	1.000 kg	—

#### 4.1.6 燃料電池スタック

表 3-3 で素材構成を示した燃料電池スタックについて、その製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-11 に示す。

表 4-11 燃料電池スタック製造プロセスの入出力情報

項目			数量・単位	出典、二次データの名称	
投入物	固体高分子膜	膜	パーフルオロスルホン酸系電解質膜	0.11 kg	表 4-4
		バインダ	パーフルオロスルホン酸系電解質膜	0.008 kg	表 4-4
	電極（拡散層）		炭素繊維	0.50 kg	表 4-7
	触媒		白金、カーボンブラック	0.012 kg	表 4-5
	セパレータ		人造黒鉛、フェノール樹脂	6.0 kg	表 4-8
	シール		フッ素ゴム	0.25 kg	表 4-10
	集電板		銅	2.7 kg	Copper {GLO}  market for Sheet rolling, copper {GLO}  market for
	端板		ステンレス	6.3 kg	Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO}  market for Sheet rolling, chromium steel {GLO}  market for
	その他周辺部品		鉄	4.1 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for Sheet rolling, steel {GLO}  market for
生産物	燃料電池スタック		1 台分	—	

#### 4.1.7 改質器

改質器の触媒に用いられるルテニウムについて、みずほ情報総研 [2005] では、経済価値によって得られた白金とルテニウムの配分係数は白金：ルテニウム=0.736：0.005 であり、産出量は白金：ルテニウム=1.000：0.136 であるとし、配分対象となった白金製造プロセスの入出力情報に 0.005/0.736 を乗じ、更に 0.136/1.000 で除することでルテニウム 1kg あたりの入出力情報となる、としている。

本調査では、ecoinvent version 3.4 に搭載されている 2 ヶ国（ロシア、南アフリカ）におけるプラチナの採掘・精錬プロセスのデータ（ロシア：Platinum {RU}| group metal mine operation, ore with high palladium content、南アフリカ：Platinum {ZA}| group metal mine operation, ore with high rhodium content）にこの計算を適用し、更にルテニウムの資源消費を 1kg 分追加計上する

ことで、これら 2 ヶ国のルテニウム採掘・精錬プロセスの入出力情報を設定した。その内容を表 4-12（ロシア）及び表 4-13（南アフリカ）に示す。

表 4-12 ロシアにおけるルテニウム採掘・精錬プロセスの入出力情報

入出力分類	基本フロー・中間フロー名	再分類	数量、単位
資源	Copper, Cu 3.2E+0%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0% in ore	in ground	7.12E+01 kg
	Nickel, Ni 2.3E+0%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Cu 3.2E+0% in ore	in ground	5.14E+01 kg
	Palladium, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore	in ground	1.62E-02 kg
	Platinum, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore	in ground	5.56E-03 kg
	Rhodium, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E+0%, Cu 3.2E+0% in ore	in ground	4.44E-04 kg
	Water, river, RU	in water	1.87E+01 m3
	Water, well, in ground	in water	2.52E-01 m3
	Occupation, mineral extraction site	land	3.18E-01 m2a
	Transformation, from unknown	land	4.48E-03 m2
	Transformation, to mineral extraction site	land	4.48E-03 m2
	Ruthenium	in ground	1.00E+00 kg
投入物	Blasting {GLO} market for		8.98E-04 kg
	Chemical, inorganic {GLO} market for chemicals, inorganic		8.42E+01 kg
	Chemical, organic {GLO} market for		4.06E-01 kg
	Conveyor belt {GLO} market for		3.98E-05 m
	Hydrogen cyanide {GLO} market for		6.32E-02 kg
	Lime, packed {RoW} market for lime, packed		3.58E+00 kg
投入エネルギー	Diesel, burned in building machine {GLO} market for		1.38E+02 MJ
	Electricity, medium voltage {RU} market for		5.26E+02 kWh
	Heat, district or industrial, natural gas {GLO} market group for		2.47E+03 MJ
生産物	ロシア産ルテニウム		1.000 kg
大気圏排出物	Antimony	low. pop.	1.47E-04 kg
	Arsenic	low. pop.	6.44E-04 kg
	Beryllium	low. pop.	1.91E-06 kg
	Boron	low. pop.	7.34E-06 kg
	Cadmium	low. pop.	8.08E-08 kg
	Carbon dioxide, fossil		1.98E+01 kg

入出力分類	基本フロー・中間フロー名	再分類	数量、単位
	Carbon disulfide	low. pop.	1.79E-01 kg
	Chromium	low. pop.	7.34E-05 kg
	Cobalt	low. pop.	3.32E-03 kg
	Copper	low. pop.	4.44E-03 kg
	Dioxin,2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	low. pop.	1.10E-09 kg
	Fluorine	low. pop.	6.98E-04 kg
	Lead	low. pop.	3.44E-03 kg
	Manganese	low. pop.	6.98E-04 kg
	Mercury	low. pop.	3.66E-08 kg
	Nickel	low. pop.	3.48E-03 kg
	Nitrogen oxides	low. pop.	7.04E-04 kg
	NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	low. pop.	2.20E-02 kg
	Particulates, < 2.5 um	low. pop.	3.62E-02 kg
	Particulates, > 10 um	low. pop.	3.84E-01 kg
	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	low. pop.	3.58E-01 kg
	Selenium	low. pop.	3.66E-08 kg
	Sulfur dioxide	low. pop.	5.90E+02 kg
	Tin	low. pop.	7.20E-04 kg
	Water/m3		2.85E+00 m3
	Zinc	low. pop.	1.13E-02 kg
水圏排出物	Aluminium	river	8.72E-05 kg
	Arsenic	river	6.10E-06 kg
	BOD5, Biological Oxygen Demand	river	7.36E-03 kg
	Cadmium	river	1.39E-06 kg
	Calcium	river	6.94E-01 kg
	Chromium	river	4.14E-05 kg
	Cobalt	river	7.90E-07 kg
	COD, Chemical Oxygen Demand	river	1.11E-02 kg
	Copper	river	1.93E-04 kg
	Cyanide	river	6.96E-03 kg
	DOC, Dissolved Organic Carbon	river	4.32E-03 kg
	Iron	river	2.94E-04 kg
	Lead	river	3.06E-05 kg
	Manganese	river	2.50E-05 kg
	Mercury	river	4.62E-07 kg
	Nickel	river	8.44E-05 kg

入出力分類	基本フロー・中間フロー名	再分類	数量、単位
	Nitrogen, organic bound	river	2.30E-02 kg
	Sulfate	river	2.38E+00 kg
	Suspended solids, unspecified	river	5.22E-03 kg
	Tin	river	4.08E-05 kg
	TOC, Total Organic Carbon	river	4.32E-03 kg
	Water, RU		1.61E+01 m3
	Zinc	river	4.16E-04 kg
外部委託処理廃棄物	Nickel smelter slag {GLO}  market for		8.30E+02 kg
	Sulfidic tailing, off-site {GLO}  market for		4.84E+02 kg

表 4-13 南アフリカにおけるルテニウム採掘・精錬プロセスの入出力情報

入出力分類	基本フロー・中間フロー名	再分類	数量、単位
資源	Copper, Cu 5.2E-2%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2% in ore	in ground	6.40E+00 kg
	Nickel, Ni 3.7E-2%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Cu 5.2E-2% in ore	in ground	9.12E+00 kg
	Palladium, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore	in ground	1.78E-02 kg
	Platinum, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore	in ground	4.19E-02 kg
	Rhodium, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% in ore	in ground	2.10E-03 kg
	Water, river, ZA	in water	7.68E+00 m3
	Water, well, in ground	in water	2.06E+00 m3
	Occupation, mineral extraction site	land	2.61E+00 m2a
	Transformation, from unknown	land	3.68E-02 m2
	Transformation, to mineral extraction site	land	3.68E-02 m2
	Ruthenium	in ground	1.00E+00 kg
投入物	Blasting {GLO}  market for		7.40E-03 kg
	Chemical, inorganic {GLO}  market for chemicals, inorganic		2.18E+01 kg
	Chemical, organic {GLO}  market for		3.33E+00 kg
	Conveyor belt {GLO}  market for		3.14E-04 m
	Hydrogen cyanide {GLO}  market for		5.19E-01 kg
	Lime, packed {RoW}  market for lime, packed		2.95E+01 kg
投入エネルギー	Diesel, burned in building machine {GLO}  market for		1.08E+03 MJ
	Electricity, medium voltage {ZA}  market for		1.22E+03 kWh

入出力分類	基本フロー・中間フロー名	再分類	数量、単位
	Heat, district or industrial, natural gas {GLO} market group for		1.01E+03 MJ
生産物	南アフリカ産ルテニウム		1.000 kg
大気圏排出物	Antimony	low. pop.	1.16E-03 kg
	Arsenic	low. pop.	9.01E-05 kg
	Beryllium	low. pop.	1.50E-05 kg
	Boron	low. pop.	5.78E-05 kg
	Cadmium	low. pop.	6.34E-07 kg
	Carbon dioxide, fossil		1.53E+01 kg
	Carbon disulfide	low. pop.	1.47E+00 kg
	Chromium	low. pop.	5.78E-04 kg
	Cobalt	low. pop.	5.34E-04 kg
	Copper	low. pop.	8.45E-04 kg
	Dioxin,2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	low. pop.	1.40E-10 kg
	Fluorine	low. pop.	5.50E-03 kg
	Lead	low. pop.	5.15E-04 kg
	Manganese	low. pop.	5.50E-03 kg
	Mercury	low. pop.	2.89E-07 kg
	Nickel	low. pop.	8.95E-04 kg
	Nitrogen oxides	low. pop.	1.96E-03 kg
	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	low. pop.	2.79E-03 kg
	Particulates, < 2.5 um	low. pop.	2.84E-01 kg
	Particulates, > 10 um	low. pop.	2.94E+00 kg
	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	low. pop.	2.56E+00 kg
	Selenium	low. pop.	2.89E-07 kg
	Sulfur dioxide	low. pop.	1.06E+01 kg
	Tin	low. pop.	9.12E-05 kg
Water/m3		1.46E+00 m3	
Zinc	low. pop.	2.51E-03 kg	
水圏排出物	Aluminium	river	7.17E-01 kg
	Arsenic	river	2.45E-02 kg
	BOD5, Biological Oxygen Demand	river	5.84E-02 kg
	Cadmium	river	2.63E-03 kg
	Calcium	river	5.67E+00 kg
	Chromium	river	4.56E-03 kg
	Cobalt	river	6.51E-03 kg

入出力分類	基本フロー・中間フロー名	再分類	数量、単位
	COD, Chemical Oxygen Demand	river	8.79E-02 kg
	Copper	river	6.56E-02 kg
	Cyanide	river	5.73E-02 kg
	DOC, Dissolved Organic Carbon	river	3.44E-02 kg
	Iron	river	2.41E+00 kg
	Lead	river	2.32E-02 kg
	Manganese	river	2.05E-01 kg
	Mercury	river	3.13E-04 kg
	Nickel	river	2.02E-01 kg
	Nitrogen, organic bound	river	1.89E-01 kg
	Sulfate	river	1.96E+01 kg
	Suspended solids, unspecified	river	4.29E-02 kg
	Tin	river	2.03E-05 kg
	TOC, Total Organic Carbon	river	3.44E-02 kg
	Water, ZA		8.28E+00 m3
	Zinc	river	6.29E-01 kg
外部委託処理廃棄物	Nickel smelter slag {GLO}  market for		3.58E+01 kg
	Sulfidic tailing, off-site {GLO}  market for		7.62E+03 kg

精錬済みルテニウムが市場へ供給される場合のロシア産と南アフリカ産の重量比については、ecoinvent version 3.4 の精製済みプラチナの市場への供給プロセス (Platinum {GLO}| market for) におけるロシア産と南アフリカ産の重量比と同様とした<sup>2</sup>。また、ルテニウムの輸送プロセスについては、活動量、適用する二次データ共に精製済みプラチナの市場への供給プロセスと同様とした。以上の内容を表 4-14 に示す。

<sup>2</sup> “Platinum {GLO}| market for” では、ロシア産と南アフリカ産の他に欧州産 (RER) とその他の地域産 (RoW) のプラチナが考慮されているが、本調査における精錬済みルテニウムの市場への供給プロセスの入出力情報では、これら 2 地域は無視した。

表 4-14 精錬済みルテニウムの市場への供給プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	ロシア産ルテニウム	0.150 kg	表 4-12
	南アフリカ産ルテニウム	0.850 kg	表 4-13
輸送	鉄道	0.3448 tkm	Transport, freight train {GLO}  market group for
	内航船舶	0.0363 tkm	Transport, freight, inland waterways, barge {GLO}  market for
	陸上（トラック）	0.3614 tkm	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}  market for
	外洋船舶	0.3633 tkm	Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}  market for
生産物	精錬済みルテニウム（市場平均）	1.000 kg	—

表 3-2 で素材構成を示した改質器製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを、以上の内容を基に表 4-15 の通りとした。

表 4-15 改質器製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称	
投入物	改質触媒	Ru	0.0138 kg	表 4-14
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4462 kg	Aluminium oxide {GLO}  market for
	シフト触媒	CuO	0.800 kg	Copper oxide {GLO}  market for
		ZnO	1.00 kg	Zinc oxide {GLO}  market for
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.200 kg	Aluminium oxide {GLO}  market for
	選択酸化触媒	Ru	0.00160 kg	表 4-14
		AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3984 kg	Aluminium oxide {GLO}  market for
	筐体	14.1 kg		Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO}  market for
				Sheet rolling, chromium steel {GLO}  market for
生産物	改質器	1 台分	—	

#### 4.1.8 周辺機器

表 3-4 で示した素材構成を示した定置用燃料電池システムのうち、インバータ製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-16 に、ポンプ、ブローア製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-17 に、熱交換器製造プロセスの入出力情報及び適用した

二次データを表 4-18 に、排熱回収装置製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-19 に、それぞれ示す。

表 4-16 インバータ製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	3.8 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
	アルミ	0.9 kg	Aluminium, wrought alloy {GLO}  market for
			Sheet rolling, aluminium {GLO}  market for
	その他非鉄	0.4 kg	Copper {GLO}  market for
			Sheet rolling, copper {GLO}  market for
	樹脂	1.2 kg	Epoxy resin {GLO}  market for epoxy resin
			Blow moulding {GLO}  market for
生産物	インバータ	1 台分	—

表 4-17 ポンプ、ブロア製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	9.5 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
生産物	ポンプ、ブロア	1 台分	—

表 4-18 熱交換器製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	8.0 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
生産物	熱交換器	1 台分	—

表 4-19 排熱回収装置製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	8.0 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
生産物	排熱回収装置製造	1 台分	—

表 3-4 で示した素材構成を示した定置用燃料電池システムのうち、配線・ケーブルの製造プロセスの入出力情報については、ecoinvent version 3.4 の“Cable, unspecified {GLO}| production”のプロセスデータを基に、導体と被覆の素材及び投入重量比を JEMA よりご提供いただいた情報に合わせてカスタマイズをすることで設定した。その内容を表 4-20 に示す。

表 4-20 配線・ケーブル製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	銅	0.57 kg	Copper {GLO}  market for Wire drawing, copper {GLO}  market for
	樹脂 (PVC)	0.43 kg	Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO}  market for Extrusion, plastic pipes {GLO}  market for
	水	1.45 kg	Tap water {GLO}  market group for
生産物	配線・ケーブル	1.00 kg	—
排出物	水 (大気圏排出物)	$8.86 \times 10^{-5}$ m3	Water/m3
	水 (水圏排出物)	0.00136 m3	Water, GLO
	外部委託処理廃棄物	$1.60 \times 10^{-6}$ kg	Hazardous waste, for incineration {CH}  market for hazardous waste, for incineration
		$6.14 \times 10^{-5}$ kg	Hazardous waste, for incineration {Europe without Switzerland}  market for hazardous waste, for incineration
		0.000128 kg	Hazardous waste, for incineration {RoW}  market for hazardous waste, for incineration
		$1.24 \times 10^{-5}$ kg	Waste plastic, mixture {CH}  market for waste plastic, mixture
		0.00019 kg	Waste plastic, mixture {Europe without Switzerland}  market for waste plastic, mixture
0.00211 kg	Waste plastic, mixture {RoW}  market for waste plastic, mixture		

表 3-4 で示した素材構成を示した定置用燃料電池システムのうち、ケース製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-21 に、水処理装置製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-22 に、貯湯槽製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-23 に、バックアップバーナー製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-24 に、それぞれ示す。

表 4-21 ケース製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	30.0 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
生産物	ケース	1 台分	—

表 4-22 水処理装置製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	3.6 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
生産物	水処理装置	1 台分	—

表 4-23 貯湯槽製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	47.4 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
	部品、その他	2.6 kg	Glass wool mat {GLO}  market for
生産物	貯湯槽	1 台分	—

表 4-24 バックアップバーナー製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	23.2 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
	アルミ	2.4 kg	Aluminium, wrought alloy {GLO}  market for
			Sheet rolling, aluminium {GLO}  market for
	その他非鉄	9.9 kg	Copper {GLO}  market for
			Sheet rolling, copper {GLO}  market for
樹脂	1.1 kg	Polystyrene, general purpose {GLO}  market for	
		Blow moulding {GLO}  market for	
部品、その他	1.4 kg	Electronics, for control units {GLO}  market for	
生産物	バックアップバーナー	1 台分	—

## 4.2 システム製造段階

表 3-4 で素材構成を示した定置用燃料電池システムについて、その製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-25 に示す。

表 4-25 定置用燃料電池システム製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	燃料電池スタック	1 台分	表 4-11
	改質器	1 台分	表 4-15
	インバータ	1 台分	表 4-16
	ポンプ、フロア	1 台分	表 4-17
	熱交換器	1 台分	表 4-18
	排熱回収装置	1 台分	表 4-19
	配線・ケーブル	10 kg	表 4-20
	ケース	1 台分	表 4-21
	水処理装置	1 台分	表 4-22
	貯湯槽	1 台分	表 4-23
	バックアップバーナー	1 台分	表 4-24
	上水	304 kg	Water, decarbonised, at user {GLO}  market for
投入エネルギー	電力	55.3 kWh	Electricity, high voltage {GLO}  market group for
	化石燃料	283 MJ	Heat, district or industrial, natural gas {GLO}  market group for
輸送	陸上輸送 * 3,500km を想定	701 tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {GLO}  market for
生産物	定置用燃料電池システム	1 台	—

定置用燃料電池システムの組立に必要なエネルギーについては、JLCA [2018] の「ガス給湯器」(データ ID : 000078) のデータを基に、各機器の重量比によって調整した電力及び化石燃料の消費量を採用した。化石燃料の消費に対する二次データは、天然ガス由来の工業用熱供給を採用した。

表 4-25 には完成したシステムの輸送プロセスも含まれている。完成したシステムの輸送トンキロの設定にあたっては、P.E.P. Association [2015] に記載されている輸送シナリオに基づき、3,500km の陸上輸送を想定した。

### 4.3 システム使用段階

表 3-6 で示したシステムの使用段階における都市ガス及び系統電力の消費については、欧州における使用を想定し、いずれも ecoinvent version 3.4 より、表 4-26 で示した二次データを適用した。

表 4-26 定置用燃料電池システムの使用段階のエネルギー消費に適用する二次データ

項目	出典、二次データの名称
都市ガス	Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland}  market for heat, central or small-scale, natural gas
系統電力	Electricity, high voltage {ENTSO-E}  production mix

### 4.4 システム廃棄処理段階

システムの使用後における廃棄処理段階の入出力情報については、みずほ情報総研[2005]やみずほ情報総研[2008]での考え方に基づき、一部を ecoinvent version 3.4 のデータに置き換え、表 4-27 の通りとした。また、GHG Protocol [2011]で示されている“Recycled content method”の考え方に従い、リサイクルを行いバージン材の供給を代替することによる間接的な負荷削減効果は本調査では考慮しないものとした。

表 4-27 定置用燃料電池システム廃棄処理プロセスの入出力情報

工程		活動量の対象	数量、単位	出典、二次データの名称
回収		システム全体の重量×40km×(1+1÷積載率(71%))	19.3 tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {GLO}  market for
破碎・選別		システム全体の重量から燃料電池スタックの重量を減算	180 kg	Waste electric and electronic equipment {GLO}  market for
埋立	鉄	システム全体に用いられる鉄の重量×鉄の廃棄(埋立)率(9%)	14.2 kg	Scrap steel {RoW}  treatment of, inert material landfill
	アルミ	システム全体に用いられるアルミの重量×非鉄の廃棄(埋立)率(9%)	0.297 kg	Waste aluminium {RoW}  treatment of, sanitary landfill
	銅	システム全体に用いられる銅の重量×非鉄の廃棄(埋立)率(9%)	1.68 kg	Scrap copper {RoW}  treatment of, municipal incineration
	樹脂類	システム全体に用いられる樹脂の重量×樹脂の廃棄(埋立)率(34%)	2.78 kg	Waste plastic, mixture {RoW}  treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill
樹脂焼却		システム全体に用いられる樹脂の重量×樹脂の廃棄(焼却)率(2%)	0.16 kg	Waste plastic, consumer electronics {RoW}  treatment of, municipal incineration

## 5. ライフサイクル影響評価

本調査は、ホットスポット分析を通して重要度の高い環境影響領域やプロセスを特定することを目的としていることから、影響領域の取捨選択は行わず、個々の環境影響評価手法で対象としている影響領域全てを対象とするものとした。

本調査で適用した環境影響評価手法は表 5-1 の通りである。

表 5-1 本調査で対象とした環境影響評価手法

環境影響評価手法	対象地域	出典
CML-IA baseline, version 3.04	EU25 ヶ国	CML [2012]
ILCD 2011 Midpoint+, version 1.10	グローバル	JRC [2011]
ReCiPe 2016, version 1.00	グローバル	Huijbregts et al. [2016]

### 5.1 CML

#### 5.1.1 中間期

CML を用いた評価のうち、表 3-6 で示した中間期・①の評価の結果を表 5-2 及び図 5-1 に示す。

表 5-2 CML による評価結果：中間期・①

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Abiotic depletion	kg Sb eq	6.73E-02	9.91E-07	2.76E-07	9.50E-04	8.59E-05	6.83E-02
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	1.00E+04	6.26E+02	1.36E+03	1.37E+06	1.47E+02	1.38E+06
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1.01E+03	5.44E+01	9.46E+01	9.67E+04	1.40E+01	9.79E+04
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1.25E-03	3.14E-06	1.75E-05	8.39E-03	1.01E-06	9.66E-03
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	6.23E+03	1.36E+01	2.50E+01	9.22E+03	1.95E+01	1.55E+04
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	2.75E+03	1.40E+01	1.68E+00	5.75E+03	1.36E+03	9.88E+03
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	7.22E+06	6.03E+04	7.23E+03	1.94E+07	3.00E+05	2.70E+07
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.14E+01	3.72E-02	7.20E-02	1.59E+01	3.28E-02	2.74E+01
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	1.03E+00	8.43E-03	1.09E-02	1.16E+01	2.42E-03	1.27E+01
Acidification	kg SO2 eq	2.29E+01	1.94E-01	1.62E-01	1.01E+02	5.62E-02	1.25E+02
Eutrophication	kg PO4--- eq	8.37E+00	7.77E-02	2.11E-02	3.27E+01	4.78E-02	4.13E+01

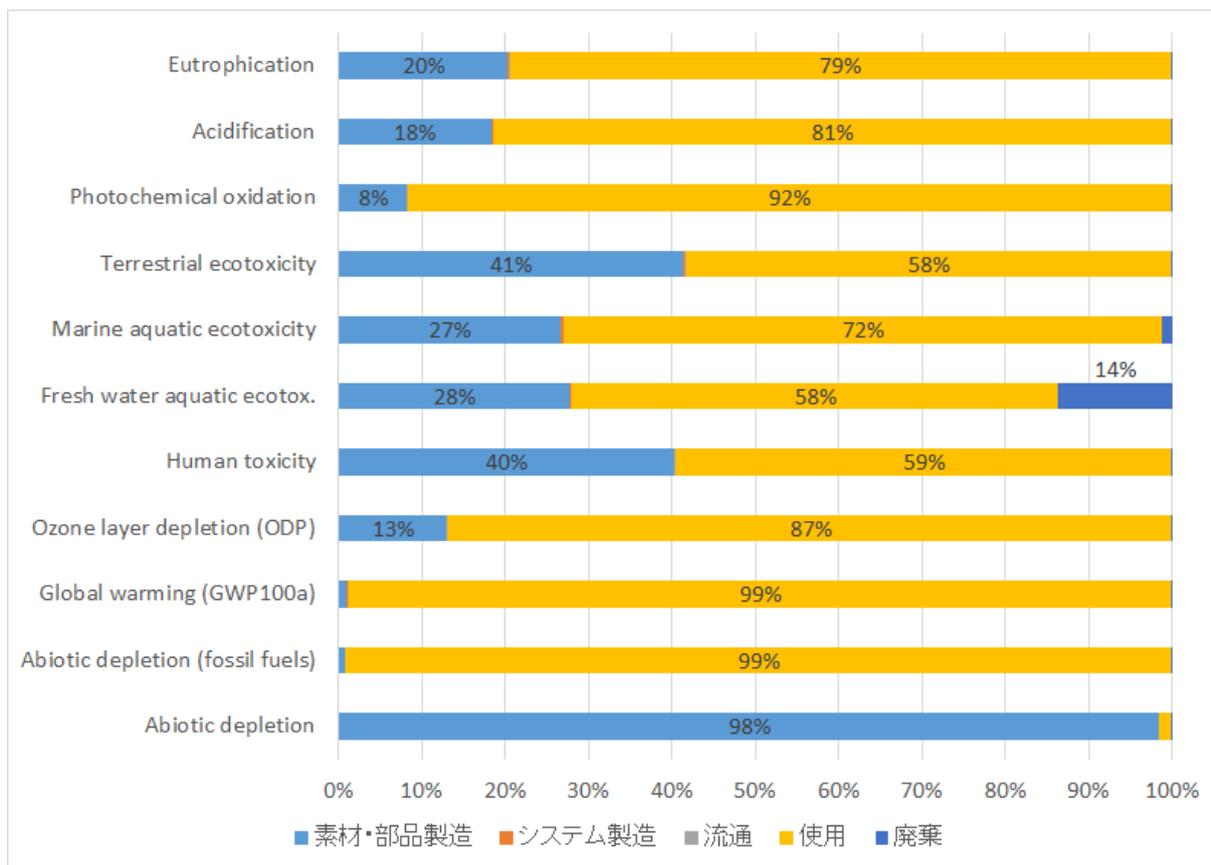


図 5-1 CML による評価結果：中間期・①

CML を用いた評価のうち、表 3-6 で示した中間期・②の評価の結果を表 5-3 及び図 5-2 に示す。

表 5-3 CML による評価結果：中間期・②

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Abiotic depletion	kg Sb eq	6.73E-02	9.91E-07	2.76E-07	8.76E-04	8.59E-05	6.83E-02
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	1.00E+04	6.26E+02	1.36E+03	1.37E+06	1.47E+02	1.38E+06
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1.01E+03	5.44E+01	9.46E+01	9.66E+04	1.40E+01	9.78E+04
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1.25E-03	3.14E-06	1.75E-05	8.37E-03	1.01E-06	9.64E-03
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	6.23E+03	1.36E+01	2.50E+01	9.00E+03	1.95E+01	1.53E+04
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	2.75E+03	1.40E+01	1.68E+00	5.42E+03	1.36E+03	9.54E+03
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	7.22E+06	6.03E+04	7.23E+03	1.84E+07	3.00E+05	2.59E+07
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.14E+01	3.72E-02	7.20E-02	1.50E+01	3.28E-02	2.65E+01
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	1.03E+00	8.43E-03	1.09E-02	1.15E+01	2.42E-03	1.26E+01
Acidification	kg SO2 eq	2.29E+01	1.94E-01	1.62E-01	9.90E+01	5.62E-02	1.22E+02
Eutrophication	kg PO4--- eq	8.37E+00	7.77E-02	2.11E-02	3.07E+01	4.78E-02	3.92E+01

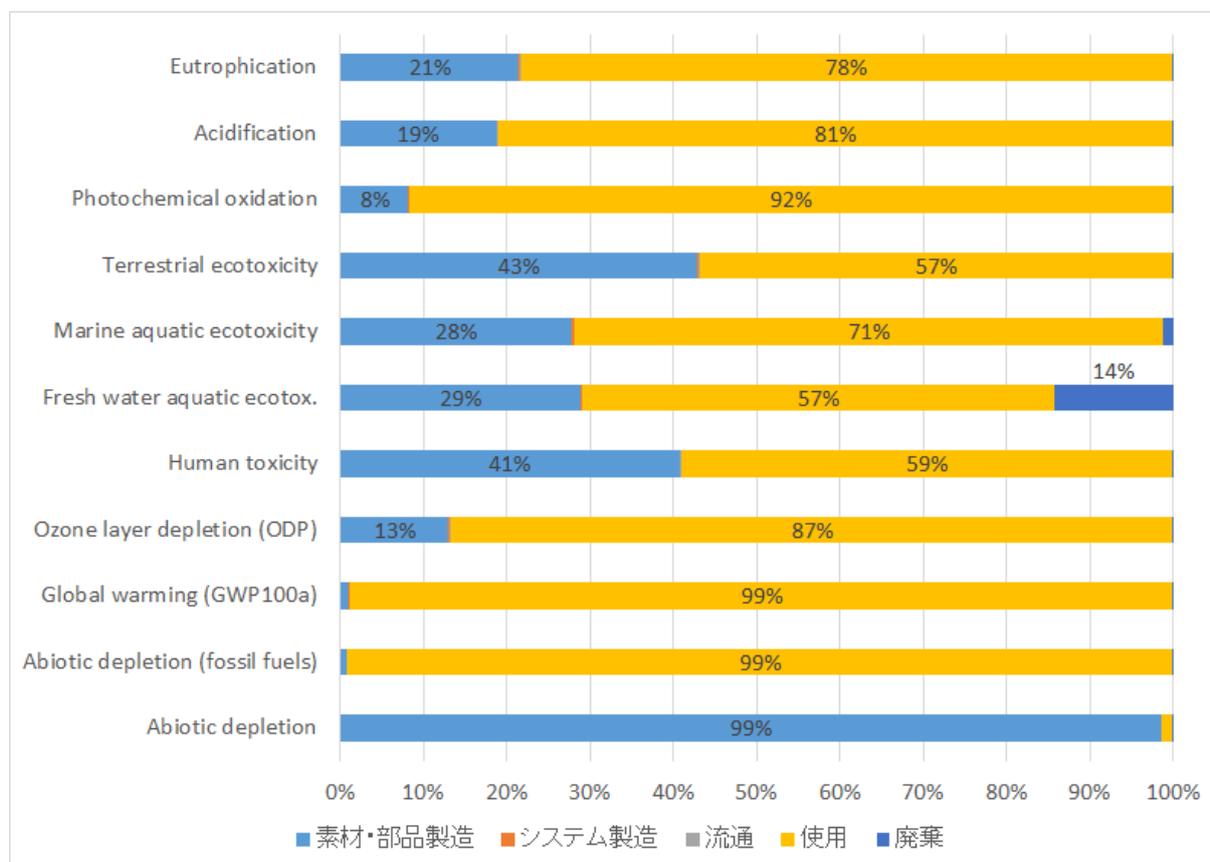


図 5-2 CML による評価結果：中間期・②

CML を用いた評価のうち、表 3-6 で示した中間期・③の評価の結果を表 5-4 及び図 5-3 に示す。

表 5-4 CML による評価結果：中間期・③

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Abiotic depletion	kg Sb eq	6.73E-02	9.91E-07	2.76E-07	1.16E-03	8.59E-05	6.86E-02
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	1.00E+04	6.26E+02	1.36E+03	1.37E+06	1.47E+02	1.38E+06
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1.01E+03	5.44E+01	9.46E+01	9.71E+04	1.40E+01	9.83E+04
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1.25E-03	3.14E-06	1.75E-05	8.45E-03	1.01E-06	9.73E-03
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	6.23E+03	1.36E+01	2.50E+01	9.86E+03	1.95E+01	1.61E+04
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	2.75E+03	1.40E+01	1.68E+00	6.73E+03	1.36E+03	1.09E+04
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	7.22E+06	6.03E+04	7.23E+03	2.24E+07	3.00E+05	3.00E+07
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.14E+01	3.72E-02	7.20E-02	1.85E+01	3.28E-02	3.00E+01
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	1.03E+00	8.43E-03	1.09E-02	1.18E+01	2.42E-03	1.28E+01
Acidification	kg SO2 eq	2.29E+01	1.94E-01	1.62E-01	1.08E+02	5.62E-02	1.32E+02
Eutrophication	kg PO4--- eq	8.37E+00	7.77E-02	2.11E-02	3.87E+01	4.78E-02	4.73E+01

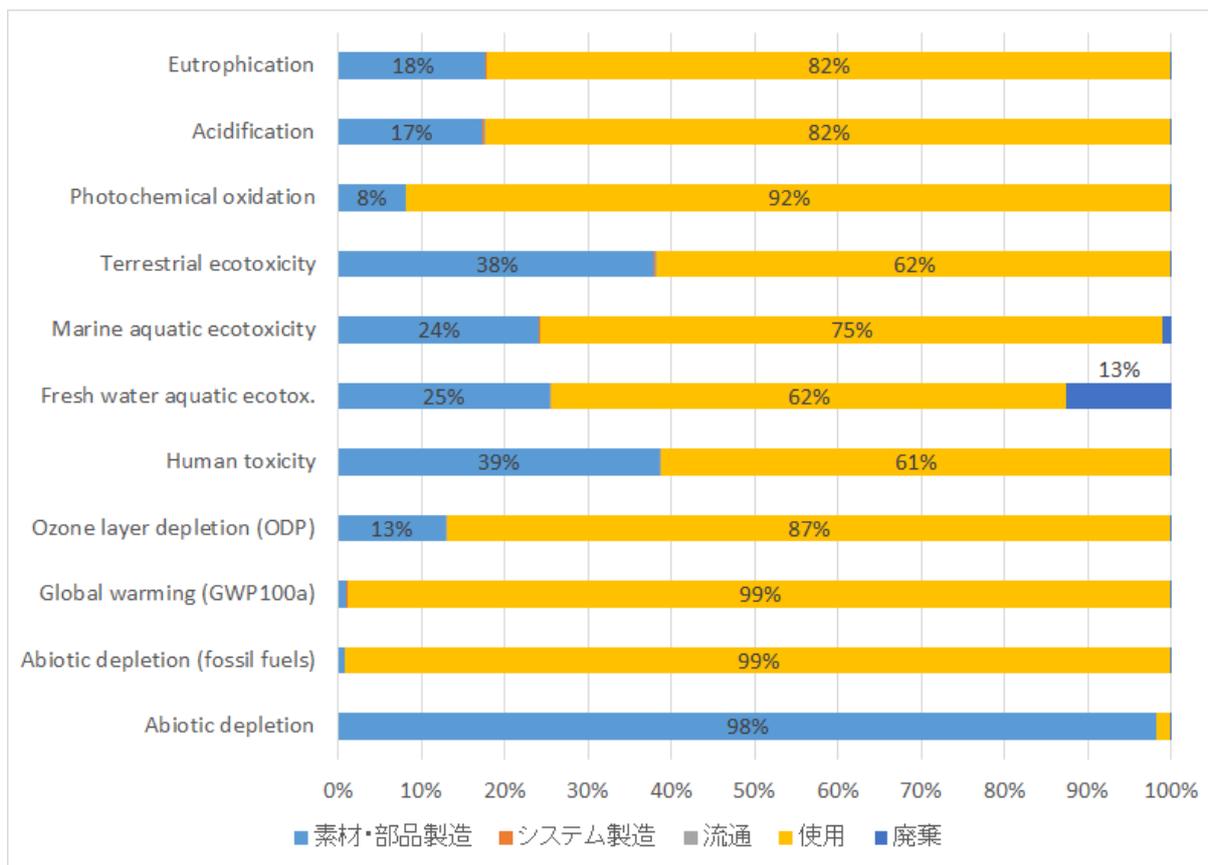


図 5-3 CML による評価結果：中間期・③

### 5.1.2 夏期

CML を用いた評価のうち、表 3-6 で示した夏期・①の評価の結果を表 5-5 及び図 5-4 に示す。

表 5-5 CML による評価結果：夏期・①

Impact category	Unit	素材・部品製造	システム製造	流通	使用	廃棄	合計
Abiotic depletion	kg Sb eq	6.73E-02	9.91E-07	2.76E-07	1.93E-03	8.59E-05	6.93E-02
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	1.00E+04	6.26E+02	1.36E+03	5.55E+05	1.47E+02	5.67E+05
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1.01E+03	5.44E+01	9.46E+01	4.24E+04	1.40E+01	4.36E+04
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1.25E-03	3.14E-06	1.75E-05	3.89E-03	1.01E-06	5.16E-03
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	6.23E+03	1.36E+01	2.50E+01	8.39E+03	1.95E+01	1.47E+04
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	2.75E+03	1.40E+01	1.68E+00	9.44E+03	1.36E+03	1.36E+04
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	7.22E+06	6.03E+04	7.23E+03	3.00E+07	3.00E+05	3.76E+07
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.14E+01	3.72E-02	7.20E-02	2.51E+01	3.28E-02	3.66E+01
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	1.03E+00	8.43E-03	1.09E-02	6.00E+00	2.42E-03	7.05E+00
Acidification	kg SO2 eq	2.29E+01	1.94E-01	1.62E-01	9.17E+01	5.62E-02	1.15E+02
Eutrophication	kg PO4--- eq	8.37E+00	7.77E-02	2.11E-02	5.69E+01	4.78E-02	6.54E+01

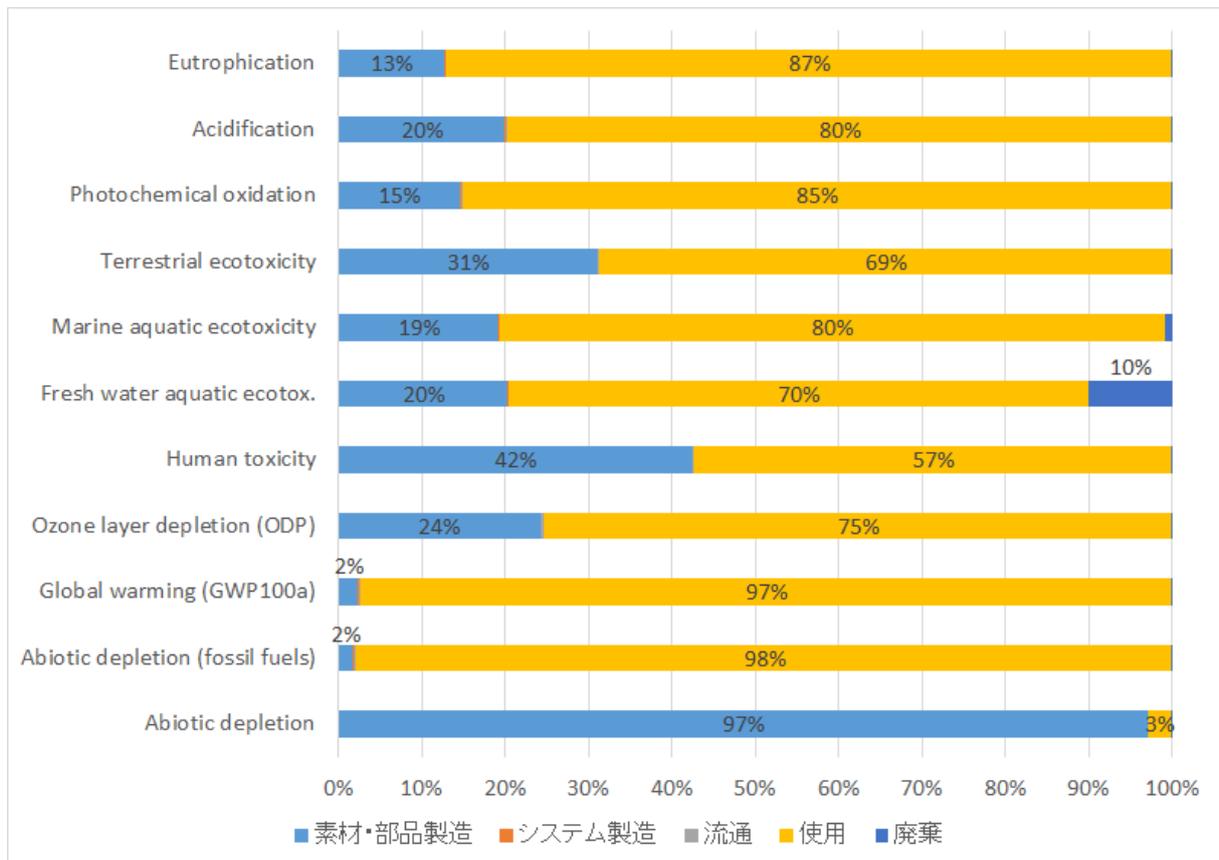


図 5-4 CML による評価結果：夏期・①

CML を用いた評価のうち、表 3-6 で示した夏期・②の評価の結果を表 5-6 及び図 5-5 に示す。

表 5-6 CML による評価結果：夏期・②

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Abiotic depletion	kg Sb eq	6.73E-02	9.91E-07	2.76E-07	1.86E-03	8.59E-05	6.92E-02
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	1.00E+04	6.26E+02	1.36E+03	5.63E+05	1.47E+02	5.76E+05
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1.01E+03	5.44E+01	9.46E+01	4.28E+04	1.40E+01	4.40E+04
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1.25E-03	3.14E-06	1.75E-05	3.92E-03	1.01E-06	5.19E-03
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	6.23E+03	1.36E+01	2.50E+01	8.21E+03	1.95E+01	1.45E+04
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	2.75E+03	1.40E+01	1.68E+00	9.12E+03	1.36E+03	1.32E+04
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	7.22E+06	6.03E+04	7.23E+03	2.90E+07	3.00E+05	3.66E+07
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.14E+01	3.72E-02	7.20E-02	2.42E+01	3.28E-02	3.57E+01
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	1.03E+00	8.43E-03	1.09E-02	6.00E+00	2.42E-03	7.06E+00
Acidification	kg SO2 eq	2.29E+01	1.94E-01	1.62E-01	8.98E+01	5.62E-02	1.13E+02
Eutrophication	kg PO4--- eq	8.37E+00	7.77E-02	2.11E-02	5.49E+01	4.78E-02	6.35E+01

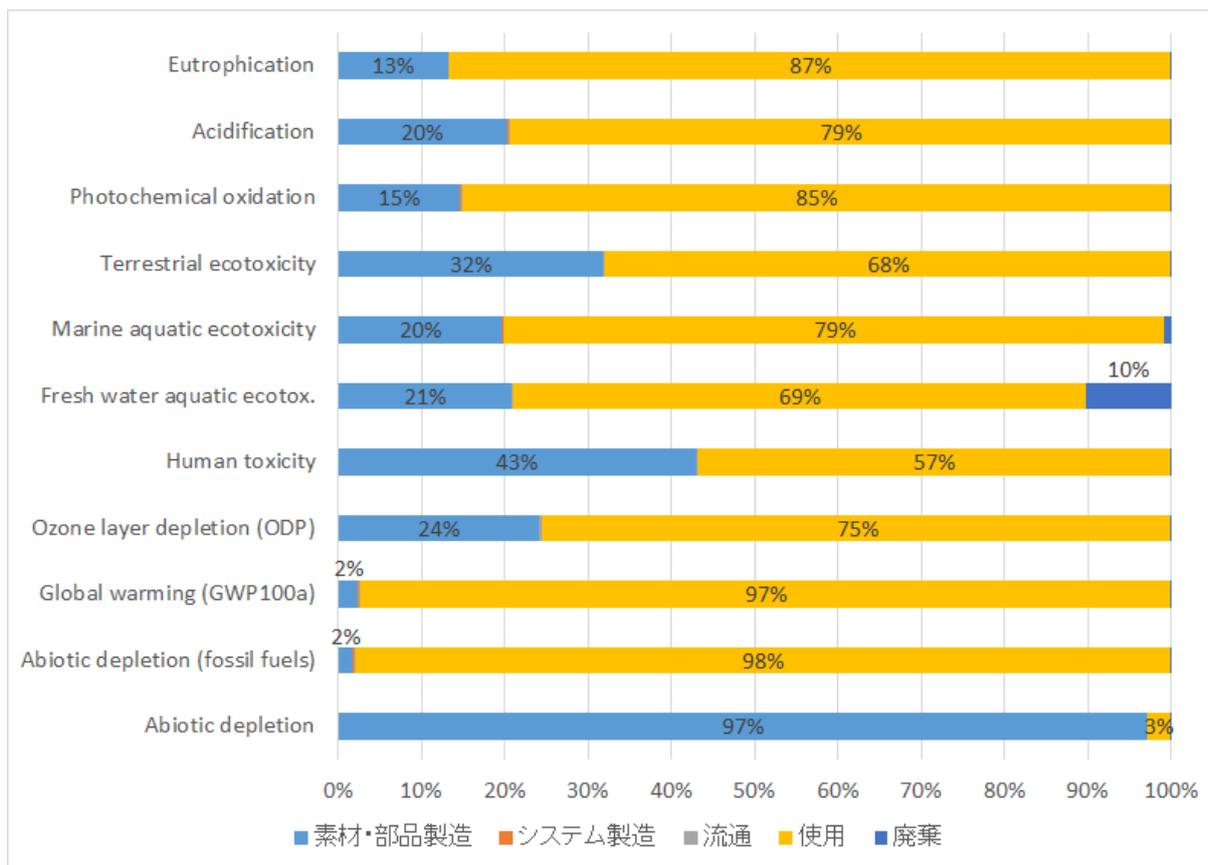


図 5-5 CML による評価結果：夏期・②

CML を用いた評価のうち、表 3-6 で示した夏期・③の評価の結果を表 5-7 及び図 5-6 に示す。

表 5-7 CML による評価結果：夏期・③

Impact category	Unit	素材・部品製造	システム製造	流通	使用	廃棄	合計
Abiotic depletion	kg Sb eq	6.73E-02	9.91E-07	2.76E-07	2.28E-03	8.59E-05	6.97E-02
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	1.00E+04	6.26E+02	1.36E+03	5.11E+05	1.47E+02	5.24E+05
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	1.01E+03	5.44E+01	9.46E+01	4.01E+04	1.40E+01	4.13E+04
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1.25E-03	3.14E-06	1.75E-05	3.75E-03	1.01E-06	5.02E-03
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	6.23E+03	1.36E+01	2.50E+01	9.26E+03	1.95E+01	1.55E+04
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	2.75E+03	1.40E+01	1.68E+00	1.10E+04	1.36E+03	1.52E+04
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	7.22E+06	6.03E+04	7.23E+03	3.49E+07	3.00E+05	4.25E+07
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1.14E+01	3.72E-02	7.20E-02	2.92E+01	3.28E-02	4.07E+01
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	1.03E+00	8.43E-03	1.09E-02	5.95E+00	2.42E-03	7.01E+00
Acidification	kg SO2 eq	2.29E+01	1.94E-01	1.62E-01	1.01E+02	5.62E-02	1.24E+02
Eutrophication	kg PO4--- eq	8.37E+00	7.77E-02	2.11E-02	6.68E+01	4.78E-02	7.53E+01

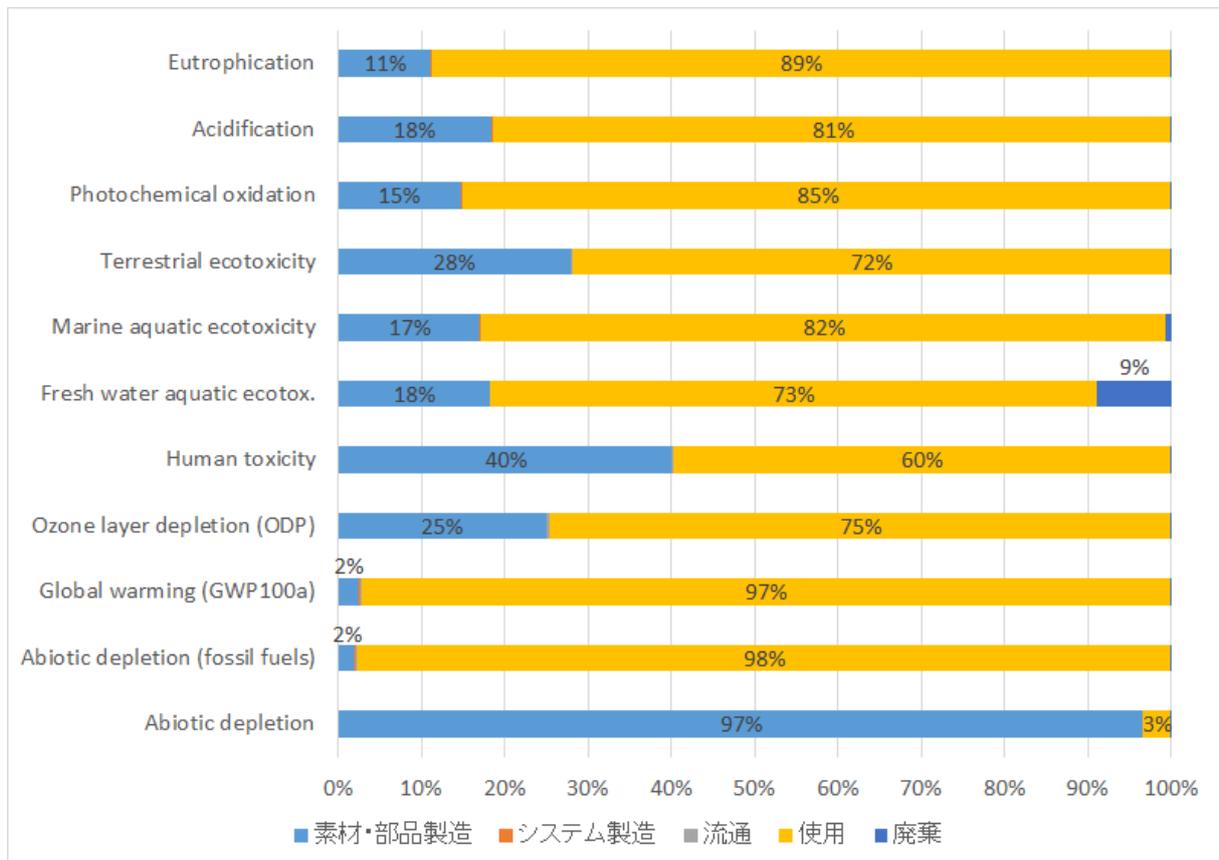


図 5-6 CML による評価結果：夏期・③

### 5.1.3 シナリオ間の比較

CML を用いた評価のうち地球温暖化及び非生物資源枯渇（鉱物）について、表 3-6 で示した使用段階における各シナリオの間で環境影響の比較を行った。その結果を図 5-7（地球温暖化）及び図 5-8（非生物資源枯渇（鉱物））に示す。

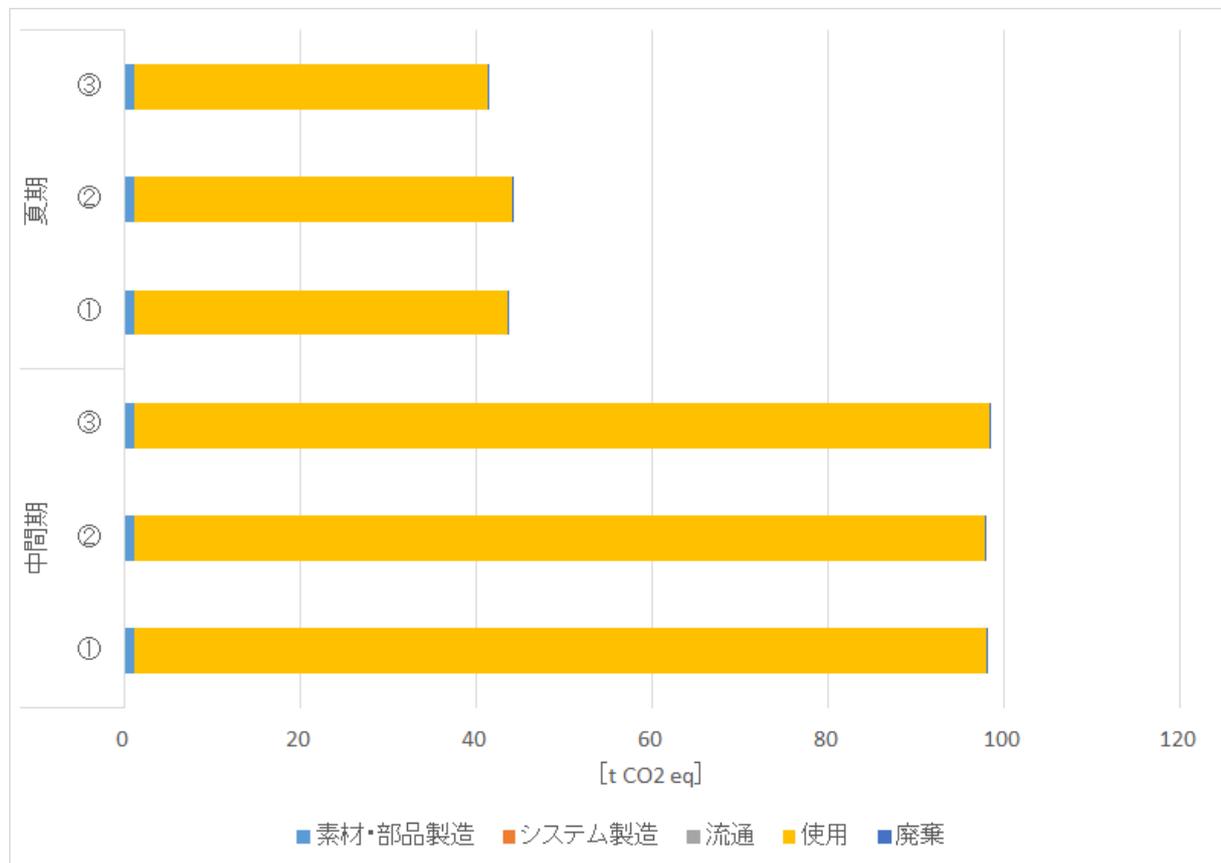


図 5-7 CML によるシナリオ間の評価結果の比較：地球温暖化

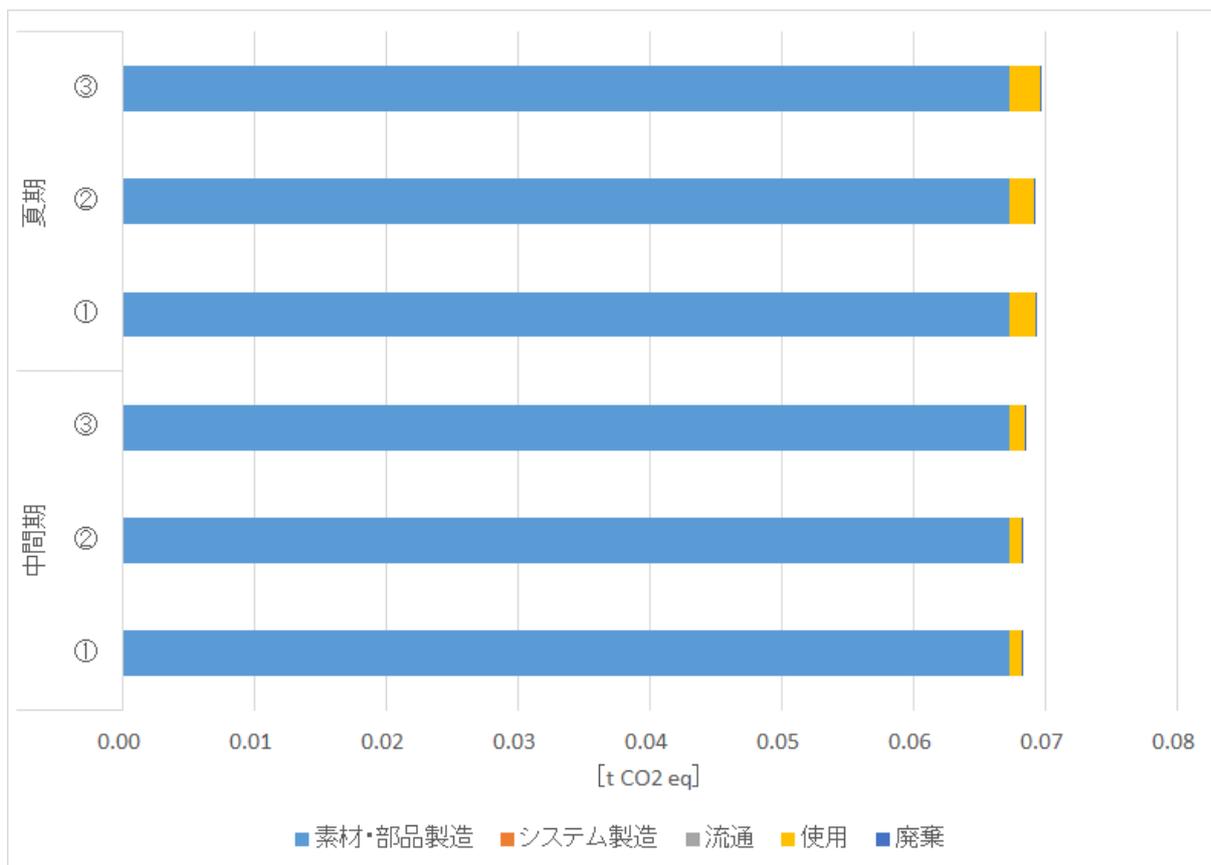


図 5-8 CML によるシナリオ間の評価結果の比較：非生物資源枯渇（鉍物）

CML を用いた地球温暖化における評価結果のシナリオ間での比較について、使用段階における電力と都市ガスの内訳は図 5-9 の通りである。

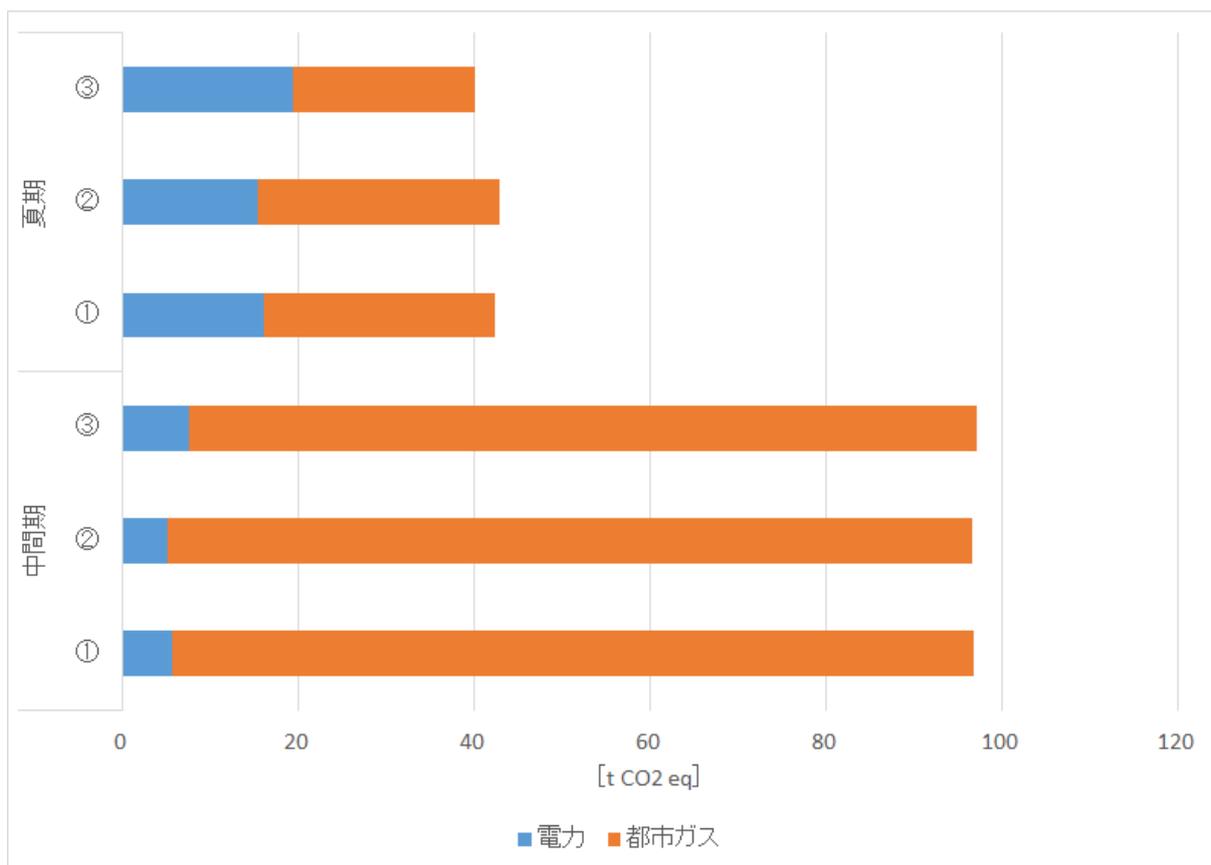


図 5-9 CML によるシナリオ間の評価結果の比較：地球温暖化（使用段階のみ）

## 5.2 環境フットプリント

### 5.2.1 中間期

ILCD 2011 Midpoint+（環境フットプリント、出典：JRC [2011]）を用いた評価のうち、表 3-6 で示した中間期・①の評価の結果を表 5-8 及び図 5-10 に示す。尚、環境フットプリントによる評価では水資源枯渇は一部のライフサイクル段階でマイナス値を取ることから、図 5-10 を含め評価結果のグラフにおける表示の対象から除外した。

表 5-8 環境フットプリントによる評価結果：中間期・①

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Climate change	kg CO2 eq	1.00E+03	5.37E+01	9.46E+01	9.50E+04	1.38E+01	9.61E+04
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1.25E-03	3.14E-06	1.75E-05	8.39E-03	1.01E-06	9.66E-03
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	4.49E-03	7.36E-06	1.35E-05	3.16E-03	2.10E-05	7.69E-03
Human toxicity, cancer effects	CTUh	5.93E-04	2.06E-06	1.55E-07	7.17E-04	8.38E-07	1.31E-03
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1.91E+00	3.85E-02	3.25E-02	6.48E+00	1.10E-02	8.47E+00
Ionizing radiation	kBq U235 eq	9.30E+01	5.84E+00	6.21E+00	4.15E+03	1.59E+00	4.26E+03
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	5.14E+00	1.08E-01	1.13E-01	9.00E+01	3.19E-02	9.54E+01
Acidification	molc H+ eq	2.58E+01	2.30E-01	1.92E-01	1.21E+02	6.71E-02	1.47E+02
Terrestrial eutrophication	molc N eq	1.52E+01	3.87E-01	3.29E-01	2.14E+02	1.19E-01	2.30E+02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.53E+00	2.09E-02	1.02E-03	8.14E+00	9.87E-03	1.07E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.61E+00	3.90E-02	2.99E-02	2.08E+01	1.75E-02	2.25E+01
Freshwater ecotoxicity	CTUe	1.04E+05	1.86E+02	2.77E+02	8.22E+04	6.45E+04	2.51E+05
Land use	kg C deficit	5.58E+02	7.14E+00	6.52E-01	2.89E+03	2.64E+00	3.46E+03
Water resource depletion	m3 water eq	-5.58E-01	-2.22E-01	1.90E-02	4.65E+01	-1.29E-02	4.58E+01
Abiotic resource depletion	kg Sb eq	3.23E-01	6.25E-05	1.85E-05	6.39E-02	2.33E-04	3.87E-01

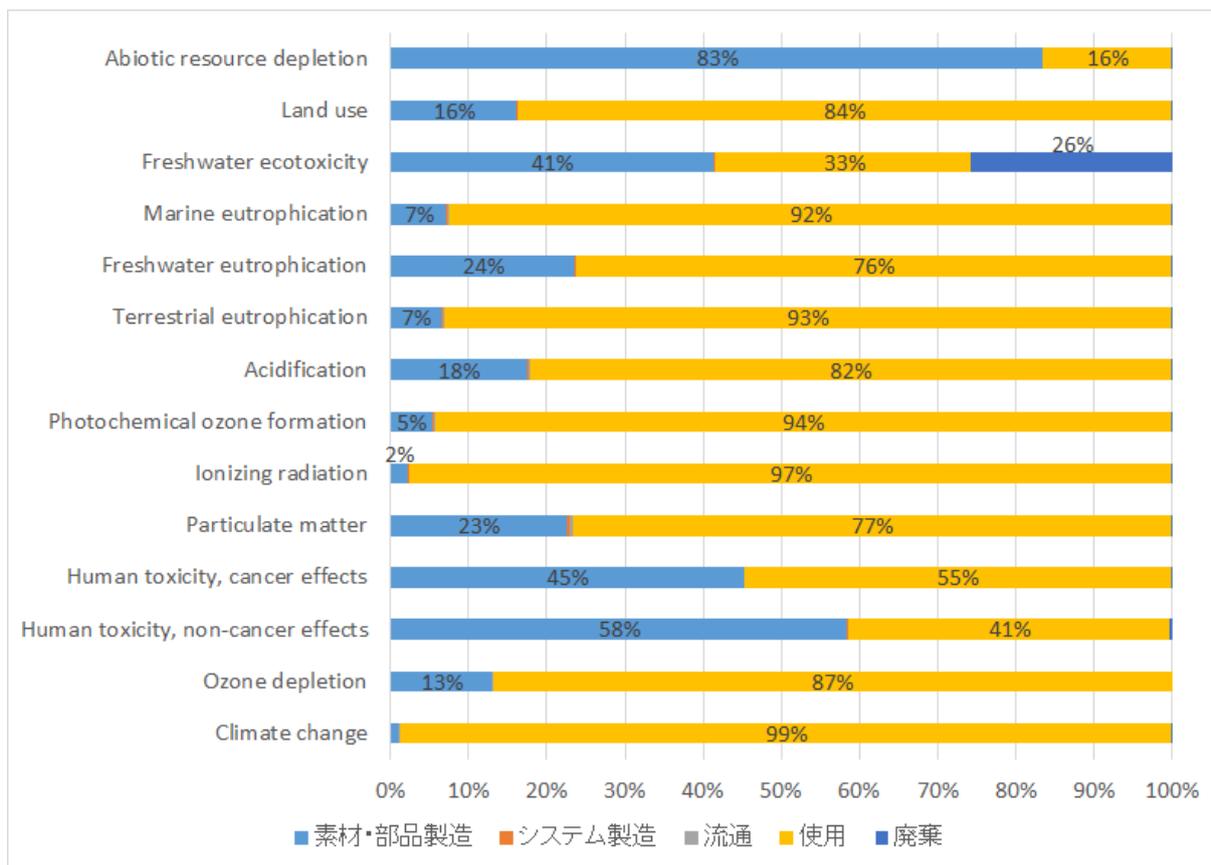


図 5-10 環境フットプリントによる評価結果：中間期・①

環境フットプリントを用いた評価のうち、表 3-6 で示した中間期・②の評価の結果を表 5-9 及び図 5-11 に示す。

表 5-9 環境フットプリントによる評価結果：中間期・②

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Climate change	kg CO2 eq	1.00E+03	5.37E+01	9.46E+01	9.48E+04	1.38E+01	9.60E+04
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1.25E-03	3.14E-06	1.75E-05	8.37E-03	1.01E-06	9.64E-03
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	4.49E-03	7.36E-06	1.35E-05	2.98E-03	2.10E-05	7.52E-03
Human toxicity, cancer effects	CTUh	5.93E-04	2.06E-06	1.55E-07	6.70E-04	8.38E-07	1.27E-03
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1.91E+00	3.85E-02	3.25E-02	6.29E+00	1.10E-02	8.28E+00
Ionizing radiation	kBq U235 eq	9.30E+01	5.84E+00	6.21E+00	3.83E+03	1.59E+00	3.94E+03
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	5.14E+00	1.08E-01	1.13E-01	8.93E+01	3.19E-02	9.47E+01
Acidification	molc H+ eq	2.58E+01	2.30E-01	1.92E-01	1.18E+02	6.71E-02	1.44E+02
Terrestrial eutrophication	molc N eq	1.52E+01	3.87E-01	3.29E-01	2.11E+02	1.19E-01	2.27E+02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.53E+00	2.09E-02	1.02E-03	7.51E+00	9.87E-03	1.01E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.61E+00	3.90E-02	2.99E-02	2.04E+01	1.75E-02	2.21E+01
Freshwater ecotoxicity	CTUe	1.04E+05	1.86E+02	2.77E+02	7.78E+04	6.45E+04	2.47E+05
Land use	kg C deficit	5.58E+02	7.14E+00	6.52E-01	2.66E+03	2.64E+00	3.23E+03
Water resource depletion	m3 water eq	-5.58E-01	-2.22E-01	1.90E-02	4.17E+01	-1.29E-02	4.10E+01
Abiotic resource depletion	kg Sb eq	3.23E-01	6.25E-05	1.85E-05	5.99E-02	2.33E-04	3.83E-01

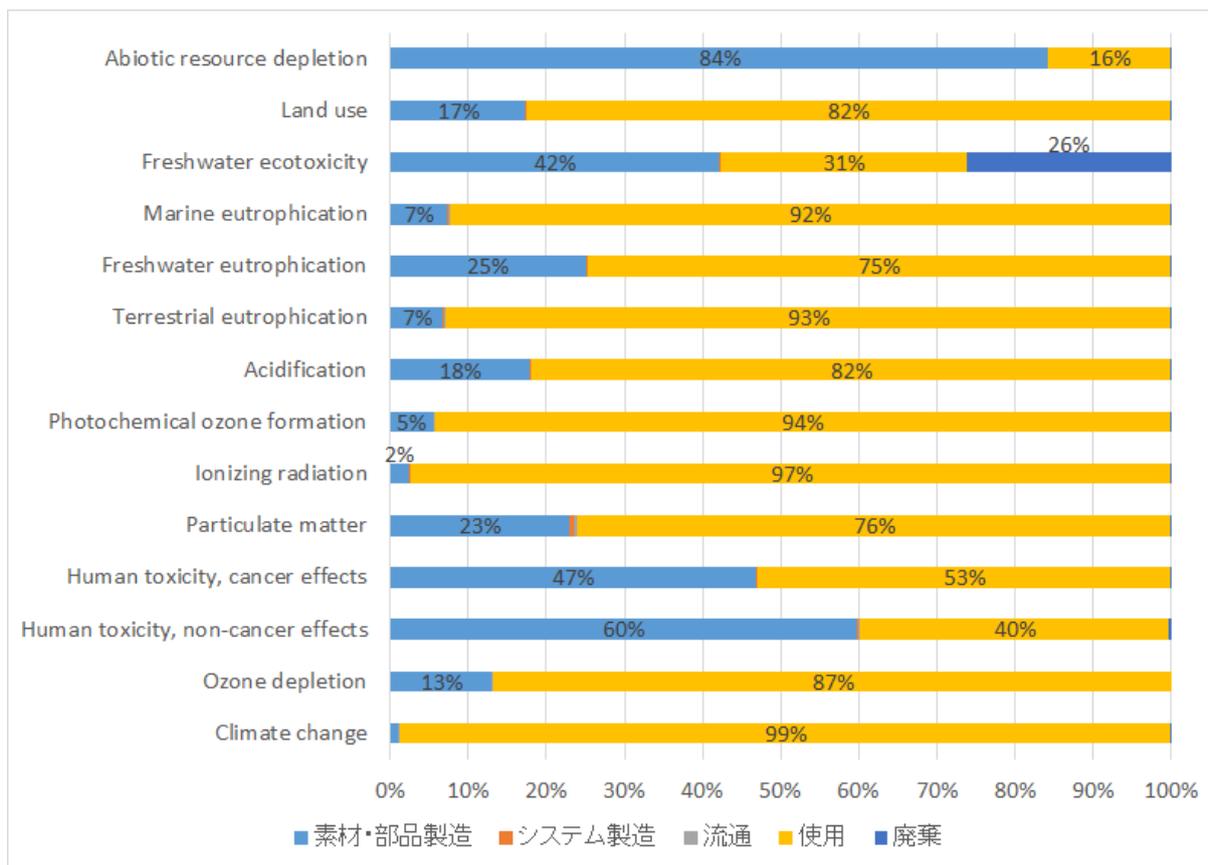


図 5-11 環境フットプリントによる評価結果：中間期・②

環境フットプリントを用いた評価のうち、表 3-6 で示した中間期・③の評価の結果を表 5-10 及び図 5-12 に示す。

表 5-10 環境フットプリントによる評価結果：中間期・③

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Climate change	kg CO2 eq	1.00E+03	5.37E+01	9.46E+01	9.54E+04	1.38E+01	9.66E+04
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1.25E-03	3.14E-06	1.75E-05	8.45E-03	1.01E-06	9.73E-03
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	4.49E-03	7.36E-06	1.35E-05	3.67E-03	2.10E-05	8.21E-03
Human toxicity, cancer effects	CTUh	5.93E-04	2.06E-06	1.55E-07	8.52E-04	8.38E-07	1.45E-03
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1.91E+00	3.85E-02	3.25E-02	7.04E+00	1.10E-02	9.02E+00
Ionizing radiation	kBq U235 eq	9.30E+01	5.84E+00	6.21E+00	5.06E+03	1.59E+00	5.17E+03
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	5.14E+00	1.08E-01	1.13E-01	9.19E+01	3.19E-02	9.73E+01
Acidification	molc H+ eq	2.58E+01	2.30E-01	1.92E-01	1.29E+02	6.71E-02	1.56E+02
Terrestrial eutrophication	molc N eq	1.52E+01	3.87E-01	3.29E-01	2.25E+02	1.19E-01	2.41E+02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.53E+00	2.09E-02	1.02E-03	9.95E+00	9.87E-03	1.25E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.61E+00	3.90E-02	2.99E-02	2.19E+01	1.75E-02	2.36E+01
Freshwater ecotoxicity	CTUe	1.04E+05	1.86E+02	2.77E+02	9.51E+04	6.45E+04	2.64E+05
Land use	kg C deficit	5.58E+02	7.14E+00	6.52E-01	3.58E+03	2.64E+00	4.15E+03
Water resource depletion	m3 water eq	-5.58E-01	-2.22E-01	1.90E-02	6.04E+01	-1.29E-02	5.96E+01
Abiotic resource depletion	kg Sb eq	3.23E-01	6.25E-05	1.85E-05	7.54E-02	2.33E-04	3.99E-01

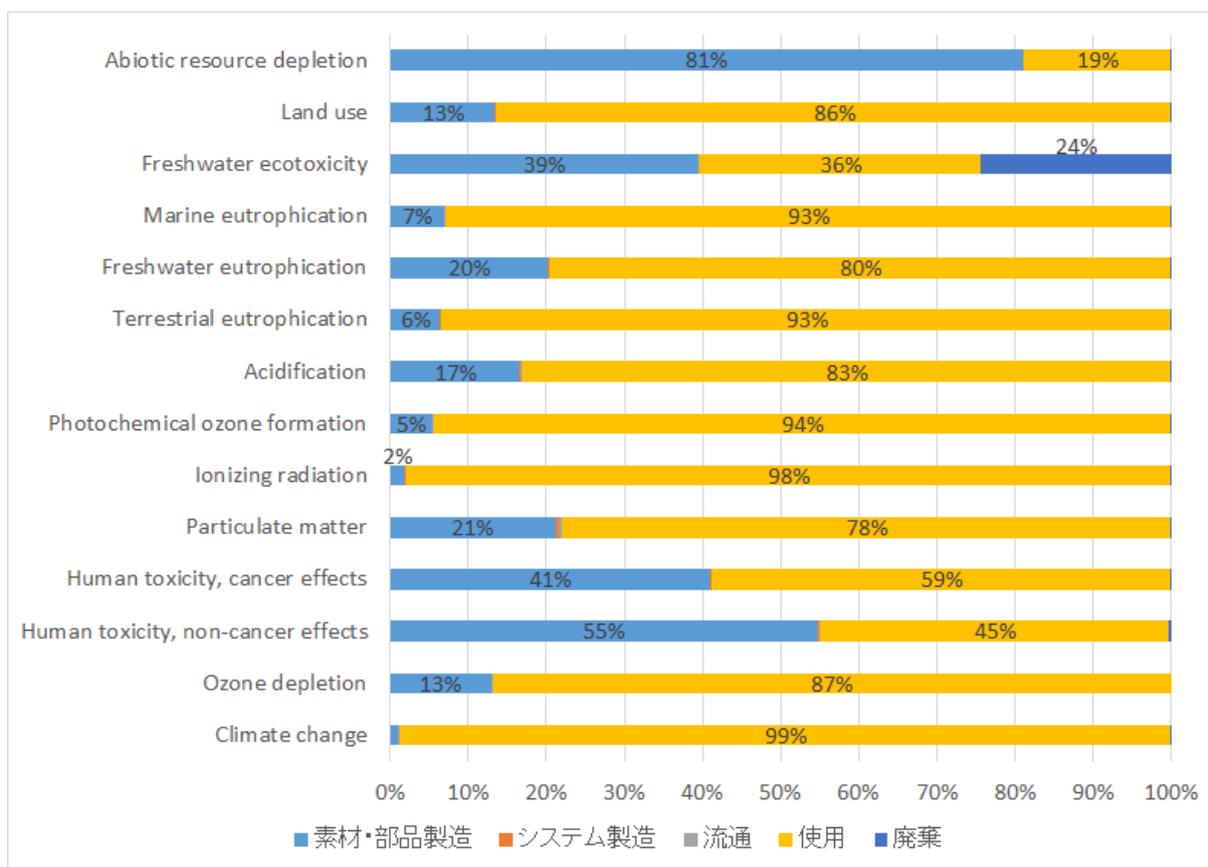


図 5-12 環境フットプリントによる評価結果：中間期・③

## 5.2.2 夏期

環境フットプリントを用いた評価のうち、表 3-6 で示した夏期・①の評価の結果を表 5-11 及び図 5-13 に示す。尚、中間期と同様、環境フットプリントによる評価では水資源枯渇は一部のライフサイクル段階でマイナス値を取ることから、図 5-13 を含め評価結果のグラフにおける表示の対象から除外した。

表 5-11 環境フットプリントによる評価結果：夏期・①

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Climate change	kg CO2 eq	1.00E+03	5.37E+01	9.46E+01	4.20E+04	1.38E+01	4.32E+04
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1.25E-03	3.14E-06	1.75E-05	3.89E-03	1.01E-06	5.16E-03
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	4.49E-03	7.36E-06	1.35E-05	5.02E-03	2.10E-05	9.55E-03
Human toxicity, cancer effects	CTUh	5.93E-04	2.06E-06	1.55E-07	1.27E-03	8.38E-07	1.87E-03
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1.91E+00	3.85E-02	3.25E-02	6.67E+00	1.10E-02	8.66E+00
Ionizing radiation	kBq U235 eq	9.30E+01	5.84E+00	6.21E+00	8.32E+03	1.59E+00	8.43E+03
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	5.14E+00	1.08E-01	1.13E-01	5.05E+01	3.19E-02	5.59E+01
Acidification	molc H+ eq	2.58E+01	2.30E-01	1.92E-01	1.09E+02	6.71E-02	1.35E+02
Terrestrial eutrophication	molc N eq	1.52E+01	3.87E-01	3.29E-01	1.66E+02	1.19E-01	1.82E+02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.53E+00	2.09E-02	1.02E-03	1.64E+01	9.87E-03	1.90E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.61E+00	3.90E-02	2.99E-02	1.70E+01	1.75E-02	1.87E+01
Freshwater ecotoxicity	CTUe	1.04E+05	1.86E+02	2.77E+02	1.27E+05	6.45E+04	2.96E+05
Land use	kg C deficit	5.58E+02	7.14E+00	6.52E-01	6.15E+03	2.64E+00	6.72E+03
Water resource depletion	m3 water eq	-5.58E-01	-2.22E-01	1.90E-02	1.19E+02	-1.29E-02	1.19E+02
Abiotic resource depletion	kg Sb eq	3.23E-01	6.25E-05	1.85E-05	1.10E-01	2.33E-04	4.33E-01

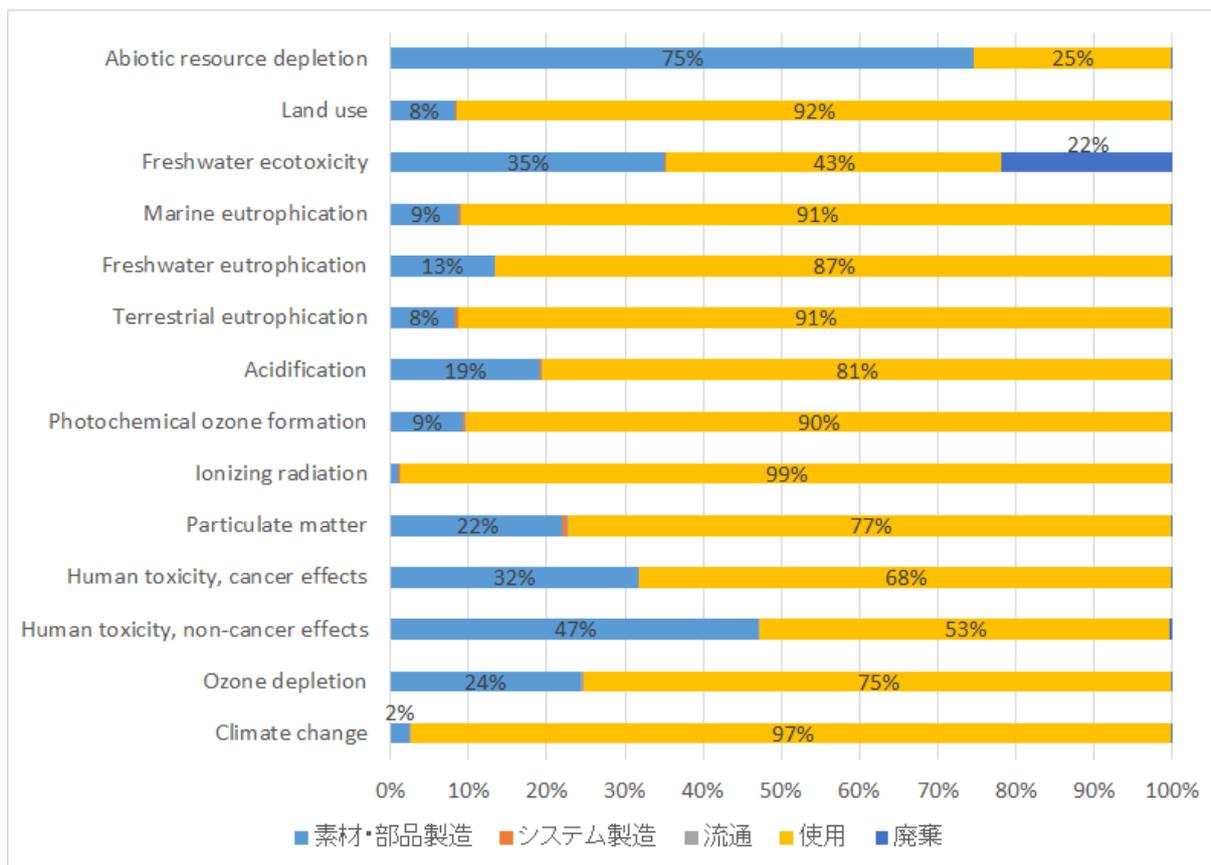


図 5-13 環境フットプリントによる評価結果：夏期・①

環境フットプリントを用いた評価のうち、表 3-6 で示した夏期・②の評価の結果を表 5-12 及び図 5-14 に示す。

表 5-12 環境フットプリントによる評価結果：夏期・②

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Climate change	kg CO2 eq	1.00E+03	5.37E+01	9.46E+01	4.25E+04	1.38E+01	4.36E+04
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1.25E-03	3.14E-06	1.75E-05	3.92E-03	1.01E-06	5.19E-03
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	4.49E-03	7.36E-06	1.35E-05	4.85E-03	2.10E-05	9.39E-03
Human toxicity, cancer effects	CTUh	5.93E-04	2.06E-06	1.55E-07	1.23E-03	8.38E-07	1.83E-03
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1.91E+00	3.85E-02	3.25E-02	6.51E+00	1.10E-02	8.50E+00
Ionizing radiation	kBq U235 eq	9.30E+01	5.84E+00	6.21E+00	8.01E+03	1.59E+00	8.12E+03
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	5.14E+00	1.08E-01	1.13E-01	5.04E+01	3.19E-02	5.58E+01
Acidification	molc H+ eq	2.58E+01	2.30E-01	1.92E-01	1.07E+02	6.71E-02	1.33E+02
Terrestrial eutrophication	molc N eq	1.52E+01	3.87E-01	3.29E-01	1.63E+02	1.19E-01	1.79E+02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.53E+00	2.09E-02	1.02E-03	1.58E+01	9.87E-03	1.84E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.61E+00	3.90E-02	2.99E-02	1.67E+01	1.75E-02	1.84E+01
Freshwater ecotoxicity	CTUe	1.04E+05	1.86E+02	2.77E+02	1.23E+05	6.45E+04	2.92E+05
Land use	kg C deficit	5.58E+02	7.14E+00	6.52E-01	5.92E+03	2.64E+00	6.49E+03
Water resource depletion	m3 water eq	-5.58E-01	-2.22E-01	1.90E-02	1.15E+02	-1.29E-02	1.14E+02
Abiotic resource depletion	kg Sb eq	3.23E-01	6.25E-05	1.85E-05	1.06E-01	2.33E-04	4.29E-01

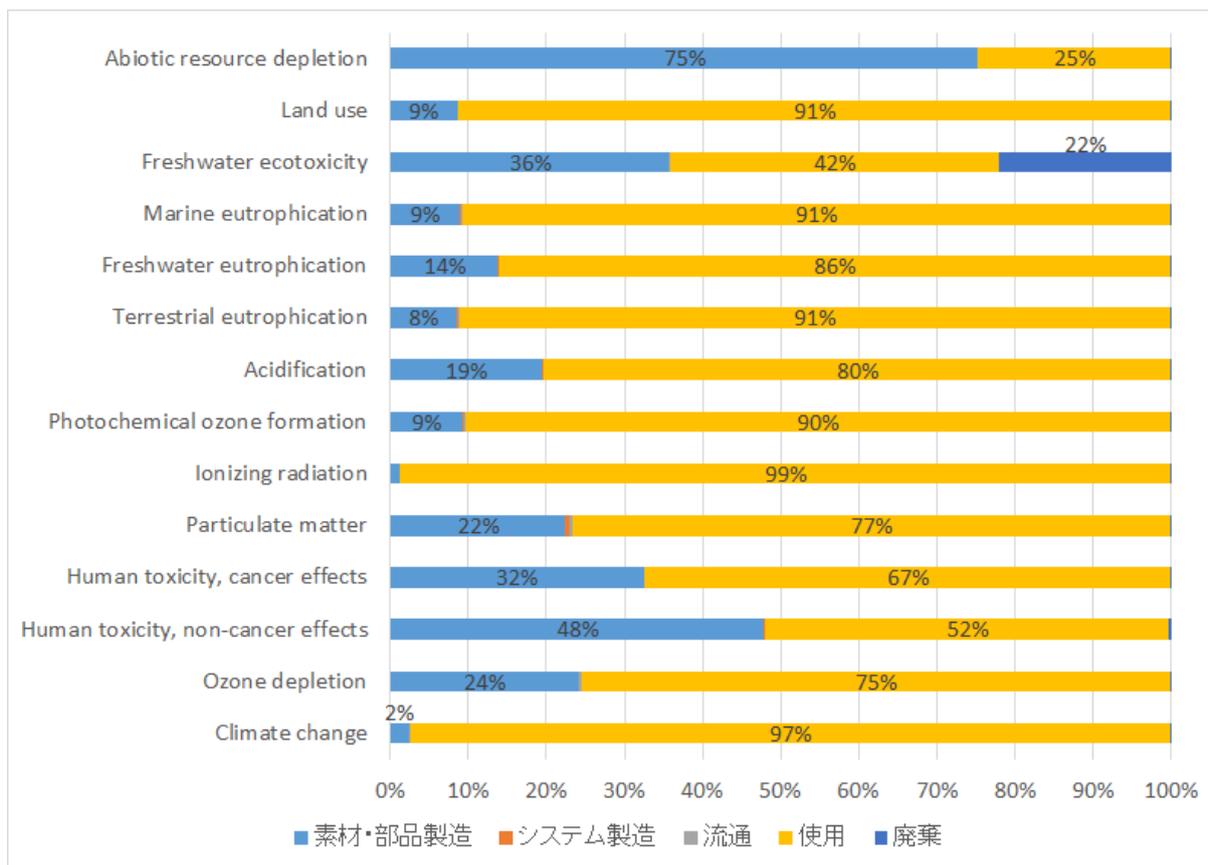


図 5-14 環境フットプリントによる評価結果：夏期・②

環境フットプリントを用いた評価のうち、表 3-6 で示した夏期・③の評価の結果を表 5-13 及び図 5-15 に示す。

表 5-13 環境フットプリントによる評価結果：夏期・③

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Climate change	kg CO2 eq	1.00E+03	5.37E+01	9.46E+01	3.99E+04	1.38E+01	4.11E+04
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1.25E-03	3.14E-06	1.75E-05	3.75E-03	1.01E-06	5.02E-03
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	4.49E-03	7.36E-06	1.35E-05	5.85E-03	2.10E-05	1.04E-02
Human toxicity, cancer effects	CTUh	5.93E-04	2.06E-06	1.55E-07	1.50E-03	8.38E-07	2.09E-03
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1.91E+00	3.85E-02	3.25E-02	7.48E+00	1.10E-02	9.47E+00
Ionizing radiation	kBq U235 eq	9.30E+01	5.84E+00	6.21E+00	9.85E+03	1.59E+00	9.96E+03
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	5.14E+00	1.08E-01	1.13E-01	5.12E+01	3.19E-02	5.66E+01
Acidification	molc H+ eq	2.58E+01	2.30E-01	1.92E-01	1.20E+02	6.71E-02	1.46E+02
Terrestrial eutrophication	molc N eq	1.52E+01	3.87E-01	3.29E-01	1.79E+02	1.19E-01	1.95E+02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.53E+00	2.09E-02	1.02E-03	1.95E+01	9.87E-03	2.20E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.61E+00	3.90E-02	2.99E-02	1.84E+01	1.75E-02	2.01E+01
Freshwater ecotoxicity	CTUe	1.04E+05	1.86E+02	2.77E+02	1.48E+05	6.45E+04	3.17E+05
Land use	kg C deficit	5.58E+02	7.14E+00	6.52E-01	7.31E+03	2.64E+00	7.87E+03
Water resource depletion	m3 water eq	-5.58E-01	-2.22E-01	1.90E-02	1.43E+02	-1.29E-02	1.42E+02
Abiotic resource depletion	kg Sb eq	3.23E-01	6.25E-05	1.85E-05	1.29E-01	2.33E-04	4.52E-01

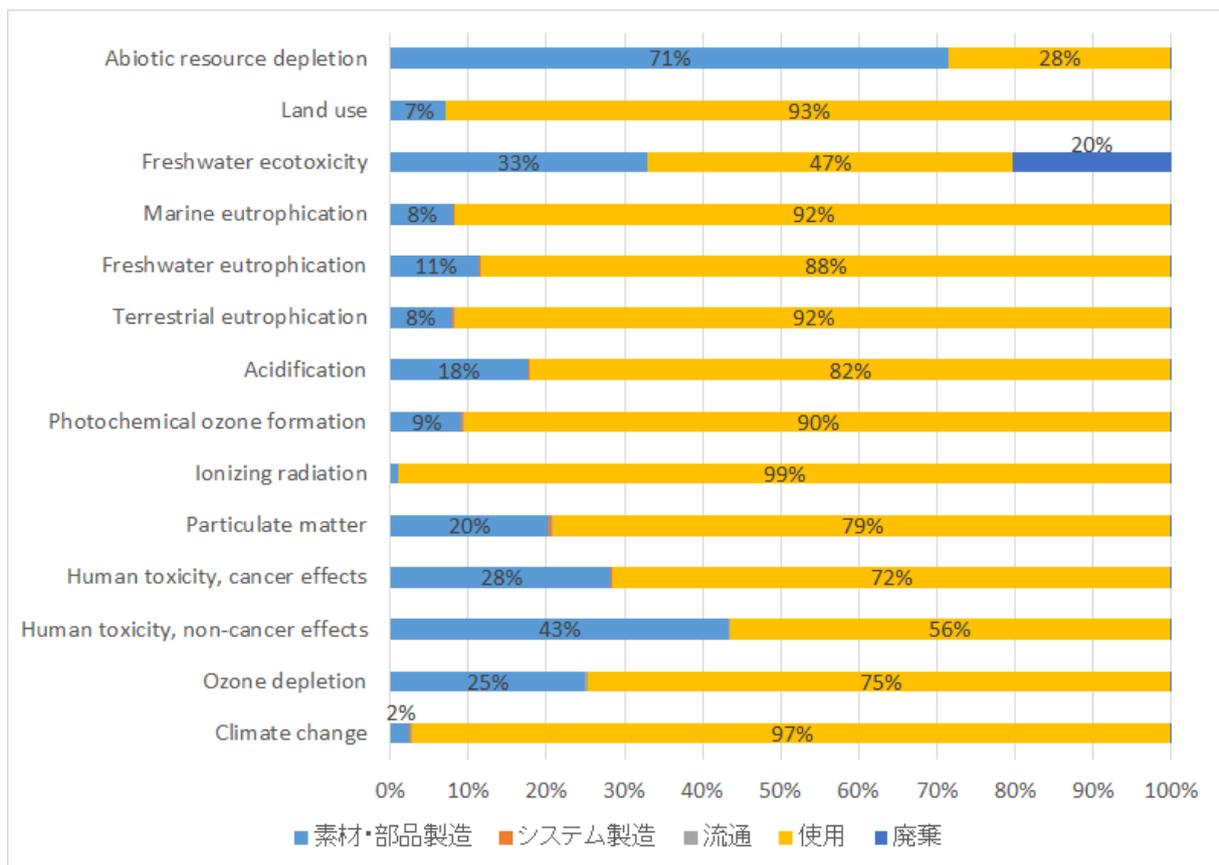


図 5-15 環境フットプリントによる評価結果：夏期・③

## 5.3 ReCiPe

### 5.3.1 中間期

ReCiPeを用いた評価のうち、表 3-6 で示した中間期・①の評価の結果を表 5-14 及び図 5-16 に示す。

表 5-14 ReCiPe による評価結果：中間期・①

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Global warming	kg CO2 eq	1.04E+03	5.56E+01	9.50E+01	9.92E+04	1.43E+01	1.00E+05
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1.76E-03	1.96E-05	6.98E-05	2.18E-02	6.59E-06	2.37E-02
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	8.38E+01	4.98E+00	9.60E-01	3.81E+03	1.23E+00	3.90E+03
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	3.09E+00	8.94E-02	8.09E-02	5.34E+01	2.67E-02	5.67E+01
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	6.77E+00	9.66E-02	6.18E-02	2.73E+01	2.69E-02	3.43E+01
Ozone formation, Terrestrial	kg NOx eq	3.17E+00	9.03E-02	8.41E-02	5.71E+01	2.69E-02	6.04E+01
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1.90E+01	1.57E-01	1.31E-01	8.24E+01	4.57E-02	1.02E+02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.52E+00	2.08E-02	1.01E-03	8.13E+00	9.87E-03	1.07E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.32E-01	1.38E-03	1.94E-04	6.76E-01	2.12E-03	8.12E-01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4.60E+04	2.06E+01	1.46E+03	5.11E+03	3.02E+02	5.29E+04
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4.38E+02	6.09E-01	2.75E-01	2.66E+02	1.89E+02	8.93E+02
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	6.27E+02	8.50E-01	1.02E+00	3.60E+02	2.26E+02	1.21E+03
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3.78E+02	1.41E+00	9.53E-02	4.49E+02	5.41E-01	8.29E+02
Human non-carcinogenic	kg 1,4-DCB	1.54E+04	1.70E+01	1.93E+01	7.28E+03	5.75E+01	2.27E+04
Land use	m2a crop eq	2.32E+01	3.51E-01	4.87E-02	3.30E+02	1.38E-01	3.54E+02
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	9.31E+01	5.17E-03	6.60E-04	6.78E+00	8.27E-02	1.00E+02
Fossil resource scarcity	kg oil eq	2.35E+02	1.49E+01	3.16E+01	3.33E+04	3.43E+00	3.36E+04
Water consumption	m3	1.09E+01	5.67E-01	1.63E-01	1.36E+02	7.13E-02	1.48E+02

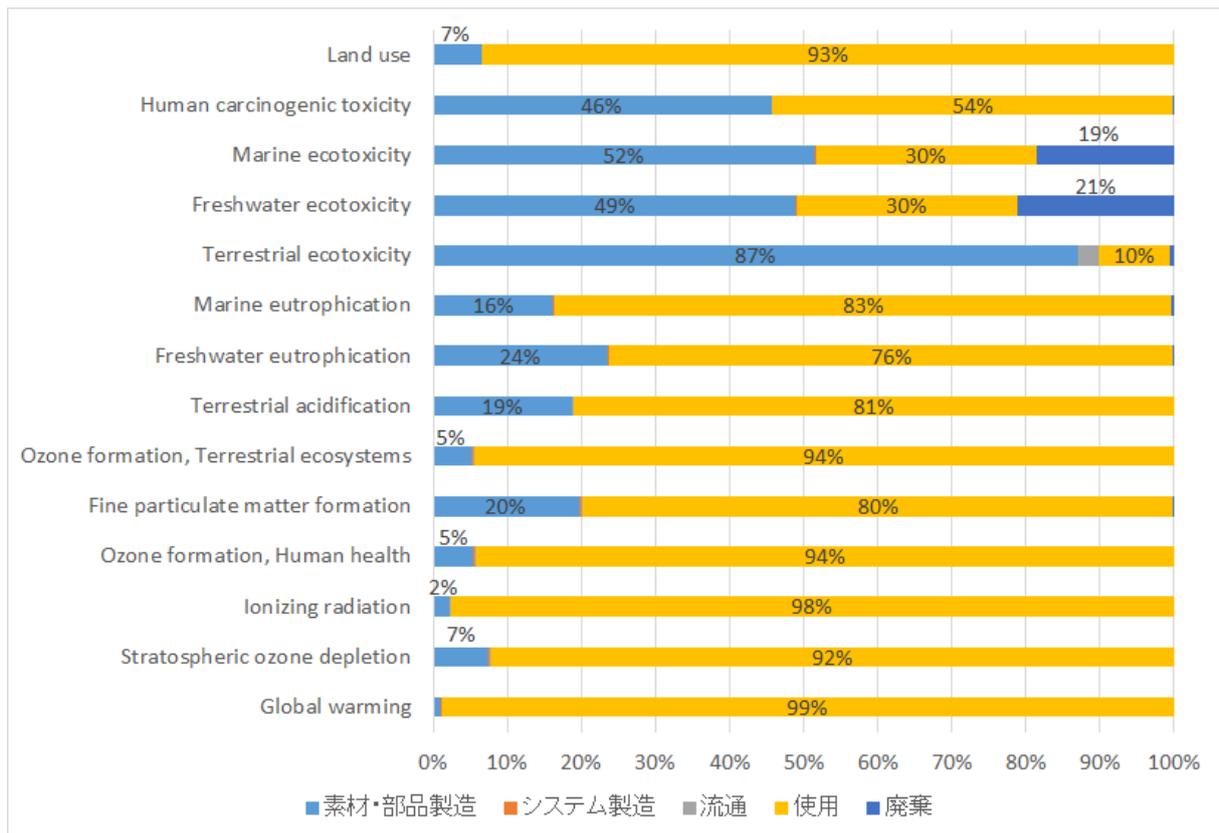


図 5-16 ReCiPe による評価結果：中間期・①

ReCiPe を用いた評価のうち、表 3-6 で示した中間期・②の評価の結果を表 5-15 及び図 5-17 に示す。

表 5-15 ReCiPe による評価結果：中間期・②

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Global warming	kg CO2 eq	1.04E+03	5.56E+01	9.50E+01	9.91E+04	1.43E+01	1.00E+05
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1.76E-03	1.96E-05	6.98E-05	2.17E-02	6.59E-06	2.36E-02
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	8.38E+01	4.98E+00	9.60E-01	3.52E+03	1.23E+00	3.61E+03
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	3.09E+00	8.94E-02	8.09E-02	5.27E+01	2.67E-02	5.60E+01
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	6.77E+00	9.66E-02	6.18E-02	2.66E+01	2.69E-02	3.36E+01
Ozone formation, Terrestrial	kg NOx eq	3.17E+00	9.03E-02	8.41E-02	5.65E+01	2.69E-02	5.98E+01
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1.90E+01	1.57E-01	1.31E-01	8.04E+01	4.57E-02	9.97E+01
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.52E+00	2.08E-02	1.01E-03	7.50E+00	9.87E-03	1.01E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.32E-01	1.38E-03	1.94E-04	6.31E-01	2.12E-03	7.67E-01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4.60E+04	2.06E+01	1.46E+03	4.74E+03	3.02E+02	5.25E+04
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4.38E+02	6.09E-01	2.75E-01	2.49E+02	1.89E+02	8.77E+02
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	6.27E+02	8.50E-01	1.02E+00	3.38E+02	2.26E+02	1.19E+03
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3.78E+02	1.41E+00	9.53E-02	4.17E+02	5.41E-01	7.97E+02
Human non-carcinogenic	kg 1,4-DCB	1.54E+04	1.70E+01	1.93E+01	6.81E+03	5.75E+01	2.23E+04
Land use	m2a crop eq	2.32E+01	3.51E-01	4.87E-02	3.03E+02	1.38E-01	3.26E+02
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	9.31E+01	5.17E-03	6.60E-04	6.13E+00	8.27E-02	9.93E+01
Fossil resource scarcity	kg oil eq	2.35E+02	1.49E+01	3.16E+01	3.33E+04	3.43E+00	3.36E+04
Water consumption	m3	1.09E+01	5.67E-01	1.63E-01	1.25E+02	7.13E-02	1.37E+02

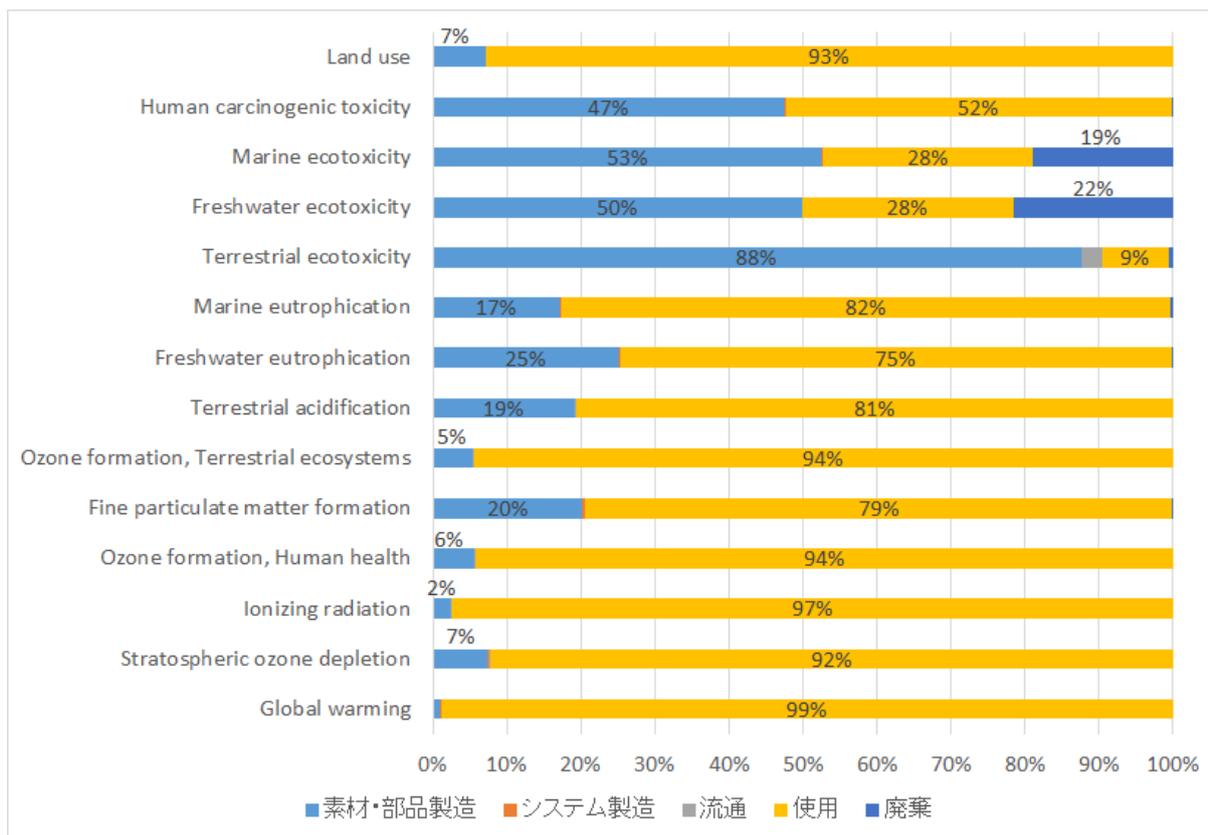


図 5-17 ReCiPe による評価結果：中間期・②

ReCiPe を用いた評価のうち、表 3-6 で示した中間期・③の評価の結果を表 5-16 及び図 5-18 に示す。

表 5-16 ReCiPe による評価結果：中間期・③

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Global warming	kg CO2 eq	1.04E+03	5.56E+01	9.50E+01	9.96E+04	1.43E+01	1.01E+05
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1.76E-03	1.96E-05	6.98E-05	2.21E-02	6.59E-06	2.40E-02
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	8.38E+01	4.98E+00	9.60E-01	4.66E+03	1.23E+00	4.75E+03
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	3.09E+00	8.94E-02	8.09E-02	5.52E+01	2.67E-02	5.84E+01
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	6.77E+00	9.66E-02	6.18E-02	2.94E+01	2.69E-02	3.64E+01
Ozone formation, Terrestrial	kg NOx eq	3.17E+00	9.03E-02	8.41E-02	5.88E+01	2.69E-02	6.22E+01
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1.90E+01	1.57E-01	1.31E-01	8.82E+01	4.57E-02	1.08E+02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.52E+00	2.08E-02	1.01E-03	9.93E+00	9.87E-03	1.25E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.32E-01	1.38E-03	1.94E-04	8.05E-01	2.12E-03	9.40E-01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4.60E+04	2.06E+01	1.46E+03	6.16E+03	3.02E+02	5.39E+04
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4.38E+02	6.09E-01	2.75E-01	3.12E+02	1.89E+02	9.40E+02
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	6.27E+02	8.50E-01	1.02E+00	4.25E+02	2.26E+02	1.28E+03
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3.78E+02	1.41E+00	9.53E-02	5.42E+02	5.41E-01	9.22E+02
Human non-carcinogenic	kg 1,4-DCB	1.54E+04	1.70E+01	1.93E+01	8.65E+03	5.75E+01	2.41E+04
Land use	m2a crop eq	2.32E+01	3.51E-01	4.87E-02	4.11E+02	1.38E-01	4.35E+02
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	9.31E+01	5.17E-03	6.60E-04	8.64E+00	8.27E-02	1.02E+02
Fossil resource scarcity	kg oil eq	2.35E+02	1.49E+01	3.16E+01	3.33E+04	3.43E+00	3.36E+04
Water consumption	m3	1.09E+01	5.67E-01	1.63E-01	1.67E+02	7.13E-02	1.79E+02

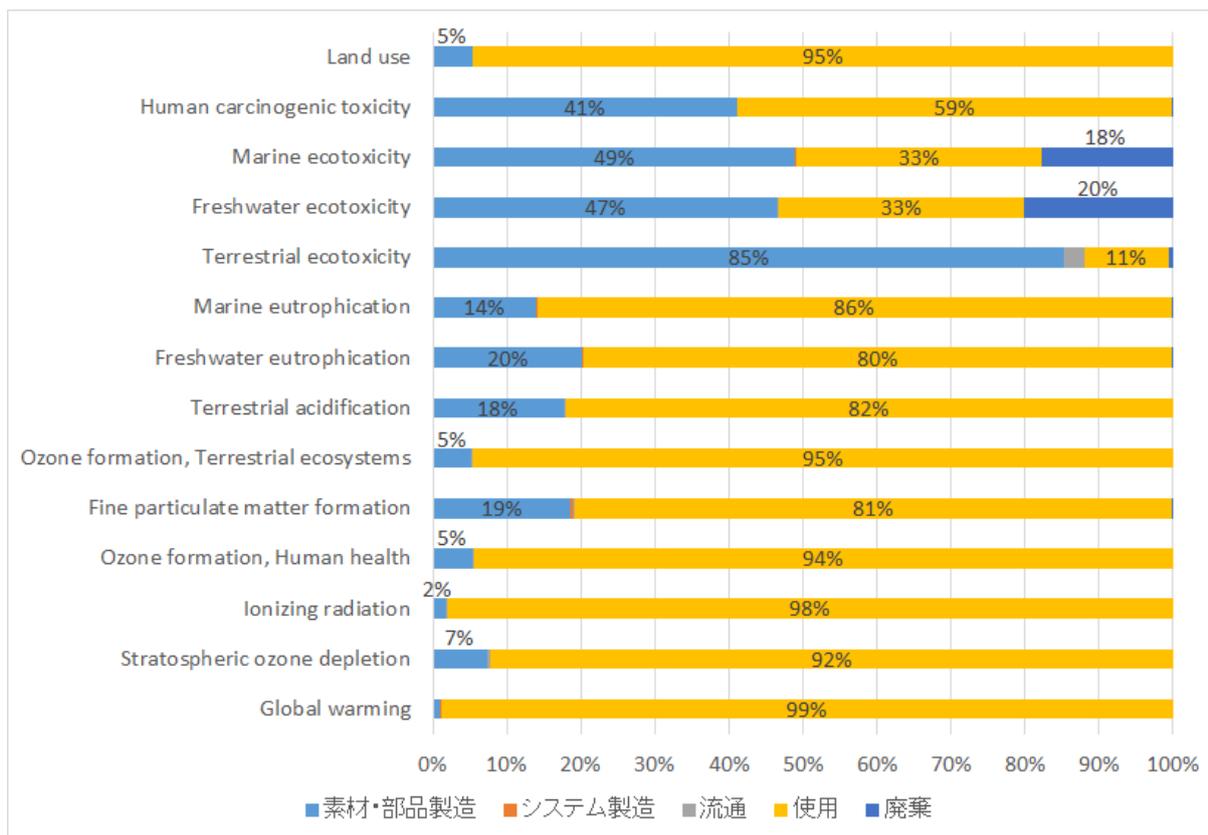


図 5-18 ReCiPe による評価結果：中間期・③

### 5.3.2 夏期

ReCiPe を用いた評価のうち、表 3-6 で示した夏期・①の評価の結果を表 5-17 及び図 5-19 に示す。

表 5-17 ReCiPe による評価結果：夏期・①

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Global warming	kg CO2 eq	1.04E+03	5.56E+01	9.50E+01	4.33E+04	1.43E+01	4.45E+04
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1.76E-03	1.96E-05	6.98E-05	1.11E-02	6.59E-06	1.29E-02
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	8.38E+01	4.98E+00	9.60E-01	7.68E+03	1.23E+00	7.77E+03
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	3.09E+00	8.94E-02	8.09E-02	3.48E+01	2.67E-02	3.80E+01
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	6.77E+00	9.66E-02	6.18E-02	2.63E+01	2.69E-02	3.33E+01
Ozone formation, Terrestrial	kg NOx eq	3.17E+00	9.03E-02	8.41E-02	3.60E+01	2.69E-02	3.94E+01
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1.90E+01	1.57E-01	1.31E-01	7.58E+01	4.57E-02	9.51E+01
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.52E+00	2.08E-02	1.01E-03	1.64E+01	9.87E-03	1.90E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.32E-01	1.38E-03	1.94E-04	1.21E+00	2.12E-03	1.34E+00
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4.60E+04	2.06E+01	1.46E+03	9.72E+03	3.02E+02	5.75E+04
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4.38E+02	6.09E-01	2.75E-01	4.47E+02	1.89E+02	1.07E+03
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	6.27E+02	8.50E-01	1.02E+00	6.16E+02	2.26E+02	1.47E+03
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3.78E+02	1.41E+00	9.53E-02	8.57E+02	5.41E-01	1.24E+03
Human non-carcinogenic	kg 1,4-DCB	1.54E+04	1.70E+01	1.93E+01	1.28E+04	5.75E+01	2.83E+04
Land use	m2a crop eq	2.32E+01	3.51E-01	4.87E-02	7.19E+02	1.38E-01	7.43E+02
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	9.31E+01	5.17E-03	6.60E-04	1.63E+01	8.27E-02	1.09E+02
Fossil resource scarcity	kg oil eq	2.35E+02	1.49E+01	3.16E+01	1.35E+04	3.43E+00	1.38E+04
Water consumption	m3	1.09E+01	5.67E-01	1.63E-01	2.79E+02	7.13E-02	2.91E+02

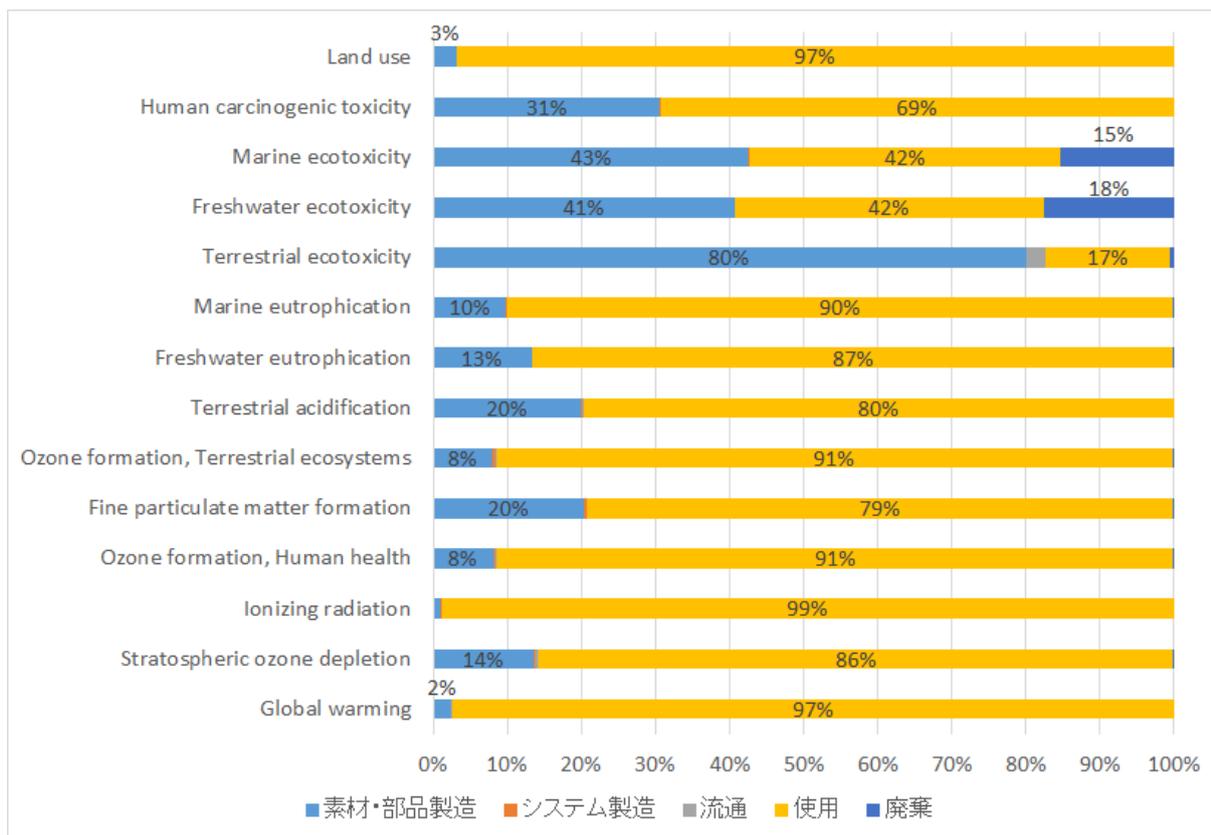


図 5-19 ReCiPe による評価結果：夏期・①

ReCiPe を用いた評価のうち、表 3-6 で示した夏期・②の評価の結果を表 5-18 及び図 5-20 に示す。

表 5-18 ReCiPe による評価結果：夏期・②

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Global warming	kg CO2 eq	1.04E+03	5.56E+01	9.50E+01	4.38E+04	1.43E+01	4.50E+04
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1.76E-03	1.96E-05	6.98E-05	1.11E-02	6.59E-06	1.30E-02
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	8.38E+01	4.98E+00	9.60E-01	7.40E+03	1.23E+00	7.49E+03
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	3.09E+00	8.94E-02	8.09E-02	3.44E+01	2.67E-02	3.77E+01
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	6.77E+00	9.66E-02	6.18E-02	2.57E+01	2.69E-02	3.27E+01
Ozone formation, Terrestrial	kg NOx eq	3.17E+00	9.03E-02	8.41E-02	3.57E+01	2.69E-02	3.91E+01
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1.90E+01	1.57E-01	1.31E-01	7.41E+01	4.57E-02	9.35E+01
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.52E+00	2.08E-02	1.01E-03	1.58E+01	9.87E-03	1.84E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.32E-01	1.38E-03	1.94E-04	1.17E+00	2.12E-03	1.30E+00
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4.60E+04	2.06E+01	1.46E+03	9.36E+03	3.02E+02	5.71E+04
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4.38E+02	6.09E-01	2.75E-01	4.31E+02	1.89E+02	1.06E+03
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	6.27E+02	8.50E-01	1.02E+00	5.95E+02	2.26E+02	1.45E+03
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3.78E+02	1.41E+00	9.53E-02	8.25E+02	5.41E-01	1.21E+03
Human non-carcinogenic	kg 1,4-DCB	1.54E+04	1.70E+01	1.93E+01	1.24E+04	5.75E+01	2.78E+04
Land use	m2a crop eq	2.32E+01	3.51E-01	4.87E-02	6.92E+02	1.38E-01	7.16E+02
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	9.31E+01	5.17E-03	6.60E-04	1.56E+01	8.27E-02	1.09E+02
Fossil resource scarcity	kg oil eq	2.35E+02	1.49E+01	3.16E+01	1.37E+04	3.43E+00	1.40E+04
Water consumption	m3	1.09E+01	5.67E-01	1.63E-01	2.69E+02	7.13E-02	2.80E+02

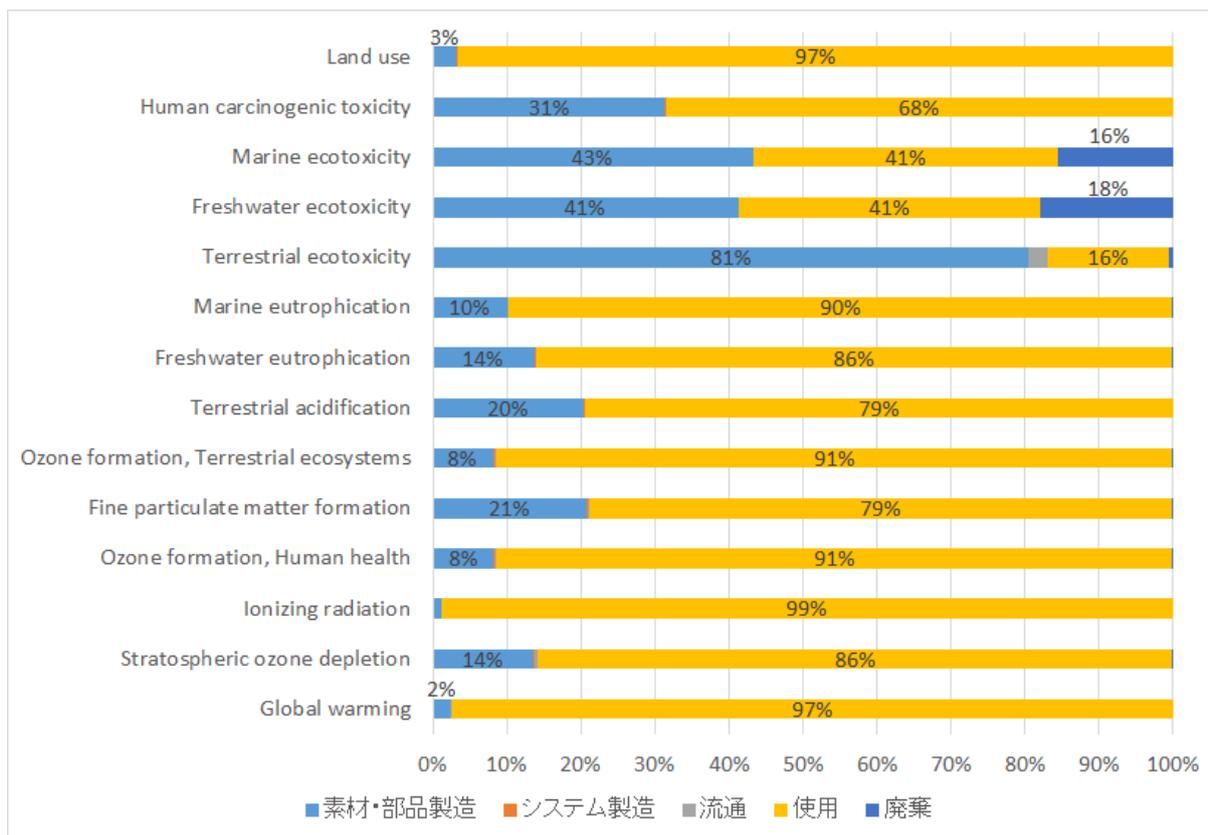


図 5-20 ReCiPe による評価結果：夏期・②

ReCiPe を用いた評価のうち、表 3-6 で示した夏期・③の評価の結果を表 5-19 及び図 5-21 に示す。

表 5-19 ReCiPe による評価結果：夏期・③

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Global warming	kg CO2 eq	1.04E+03	5.56E+01	9.50E+01	4.10E+04	1.43E+01	4.22E+04
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1.76E-03	1.96E-05	6.98E-05	1.10E-02	6.59E-06	1.28E-02
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	8.38E+01	4.98E+00	9.60E-01	9.10E+03	1.23E+00	9.19E+03
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	3.09E+00	8.94E-02	8.09E-02	3.64E+01	2.67E-02	3.96E+01
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	6.77E+00	9.66E-02	6.18E-02	2.92E+01	2.69E-02	3.62E+01
Ozone formation, Terrestrial	kg NOx eq	3.17E+00	9.03E-02	8.41E-02	3.74E+01	2.69E-02	4.08E+01
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1.90E+01	1.57E-01	1.31E-01	8.37E+01	4.57E-02	1.03E+02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.52E+00	2.08E-02	1.01E-03	1.94E+01	9.87E-03	2.20E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.32E-01	1.38E-03	1.94E-04	1.42E+00	2.12E-03	1.56E+00
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4.60E+04	2.06E+01	1.46E+03	1.15E+04	3.02E+02	5.92E+04
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	4.38E+02	6.09E-01	2.75E-01	5.23E+02	1.89E+02	1.15E+03
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	6.27E+02	8.50E-01	1.02E+00	7.23E+02	2.26E+02	1.58E+03
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3.78E+02	1.41E+00	9.53E-02	1.01E+03	5.41E-01	1.39E+03
Human non-carcinogenic	kg 1,4-DCB	1.54E+04	1.70E+01	1.93E+01	1.51E+04	5.75E+01	3.05E+04
Land use	m2a crop eq	2.32E+01	3.51E-01	4.87E-02	8.55E+02	1.38E-01	8.79E+02
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	9.31E+01	5.17E-03	6.60E-04	1.95E+01	8.27E-02	1.13E+02
Fossil resource scarcity	kg oil eq	2.35E+02	1.49E+01	3.16E+01	1.24E+04	3.43E+00	1.27E+04
Water consumption	m3	1.09E+01	5.67E-01	1.63E-01	3.31E+02	7.13E-02	3.42E+02

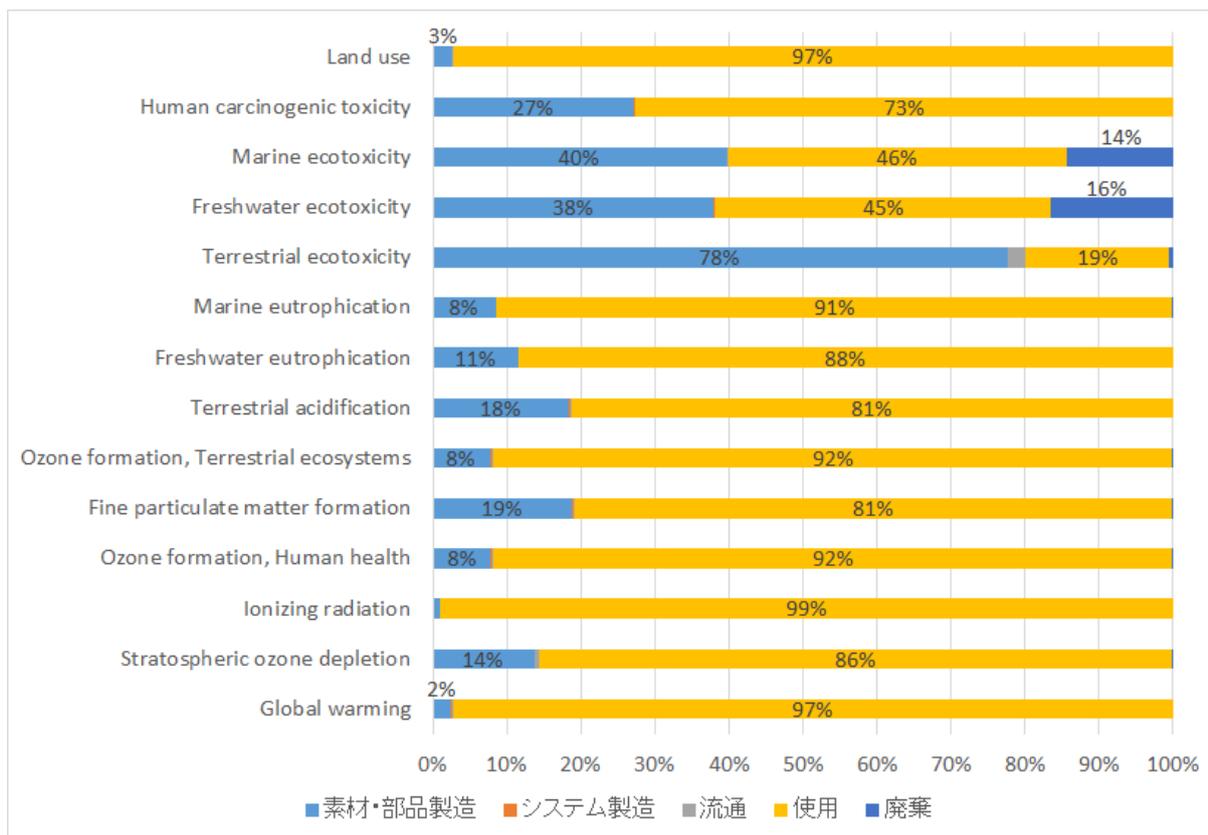


図 5-21 ReCiPe による評価結果：夏期・③

## 6. 結果の解釈

### 6.1 感度分析

#### 6.1.1 触媒の使用量

ここでは、触媒に用いられている金属のうち、プラチナ（表 3-3 参照）及びルテニウム（表 3-2 参照）について、使用量の増減、具体的には現状の使用量に対して 10%減少した場合と 10%増加した場合の環境負荷への影響について分析を行った。CML を用いた評価結果のうち、プラチナの使用量の変更に伴う環境影響の変化を図 6-1（地球温暖化）及び図 6-2（非生物資源枯渇）に、ルテニウムの使用量の変更に伴う環境影響の変化を図 6-3（地球温暖化）及び図 6-4（非生物資源枯渇）に、それぞれ示す。

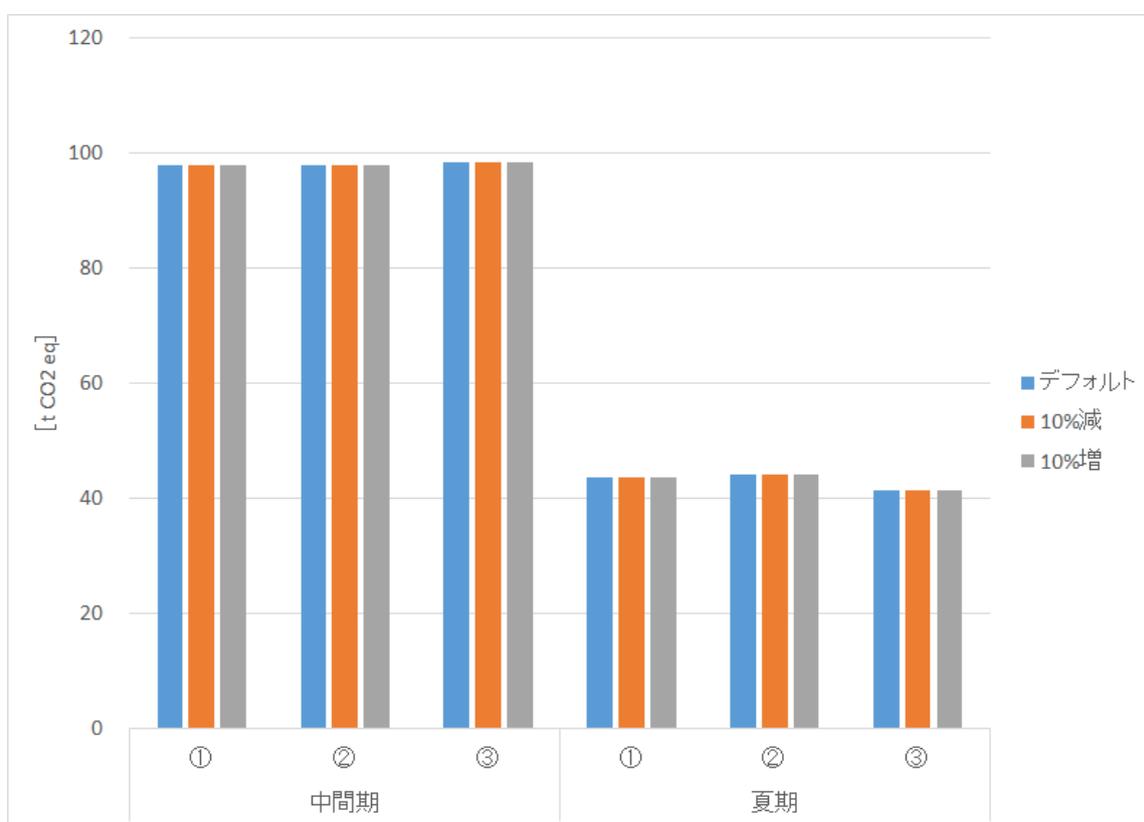


図 6-1 CML によるプラチナの使用量の変更に伴う環境影響の変化：地球温暖化

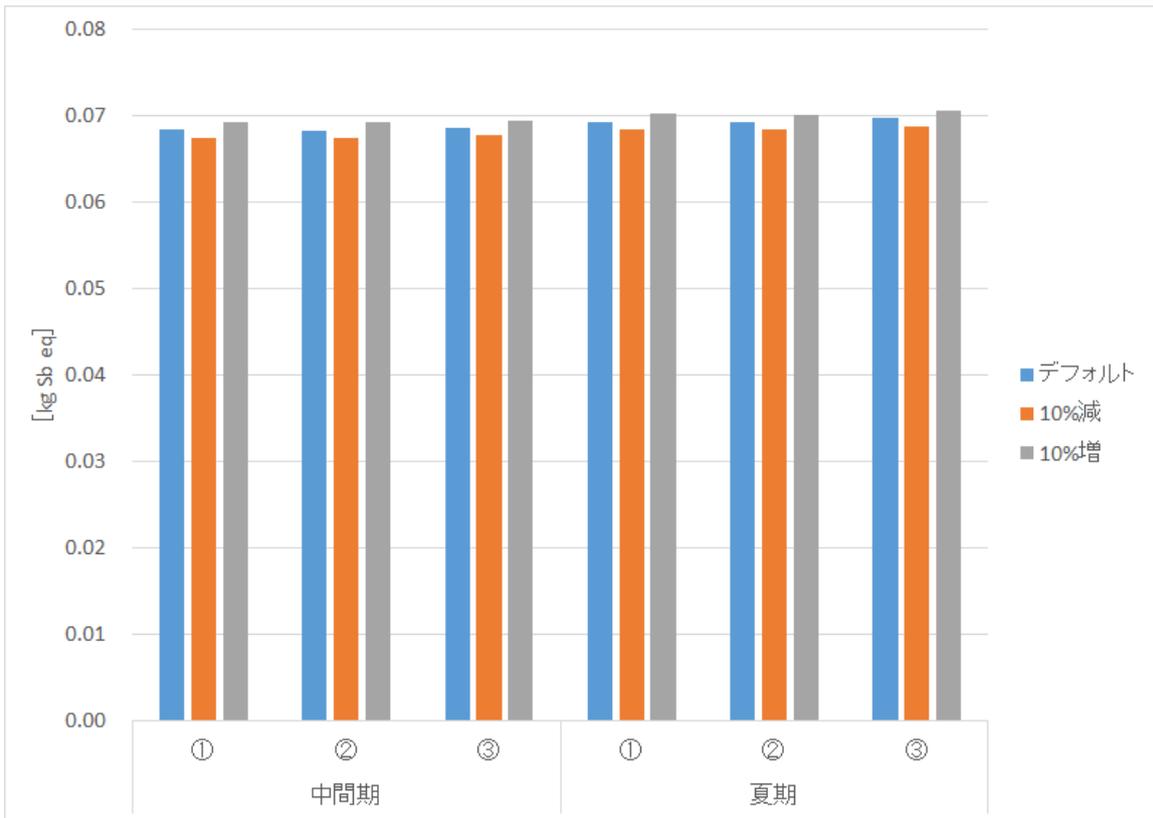


図 6-2 CML によるプラチナの使用量の変更に伴う環境影響の変化：非生物資源枯渇

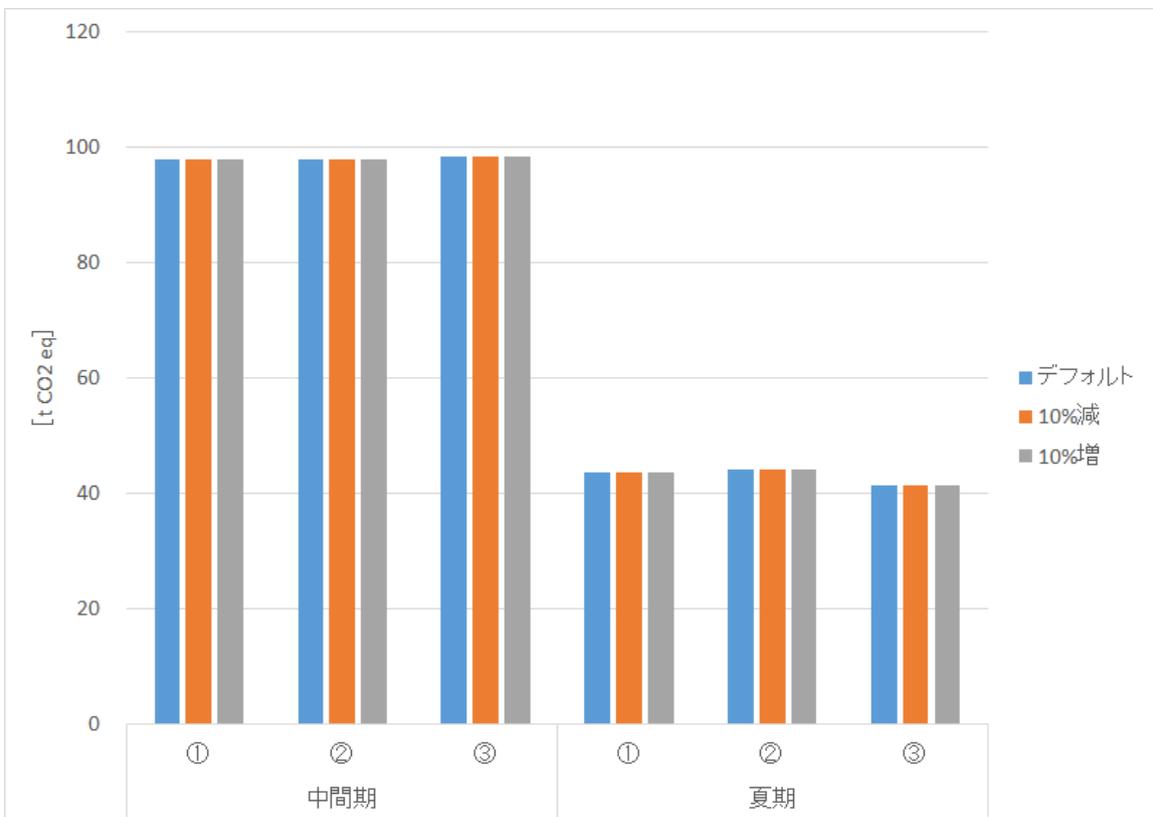


図 6-3 CML によるルテニウムの使用量の変更に伴う環境影響の変化：地球温暖化

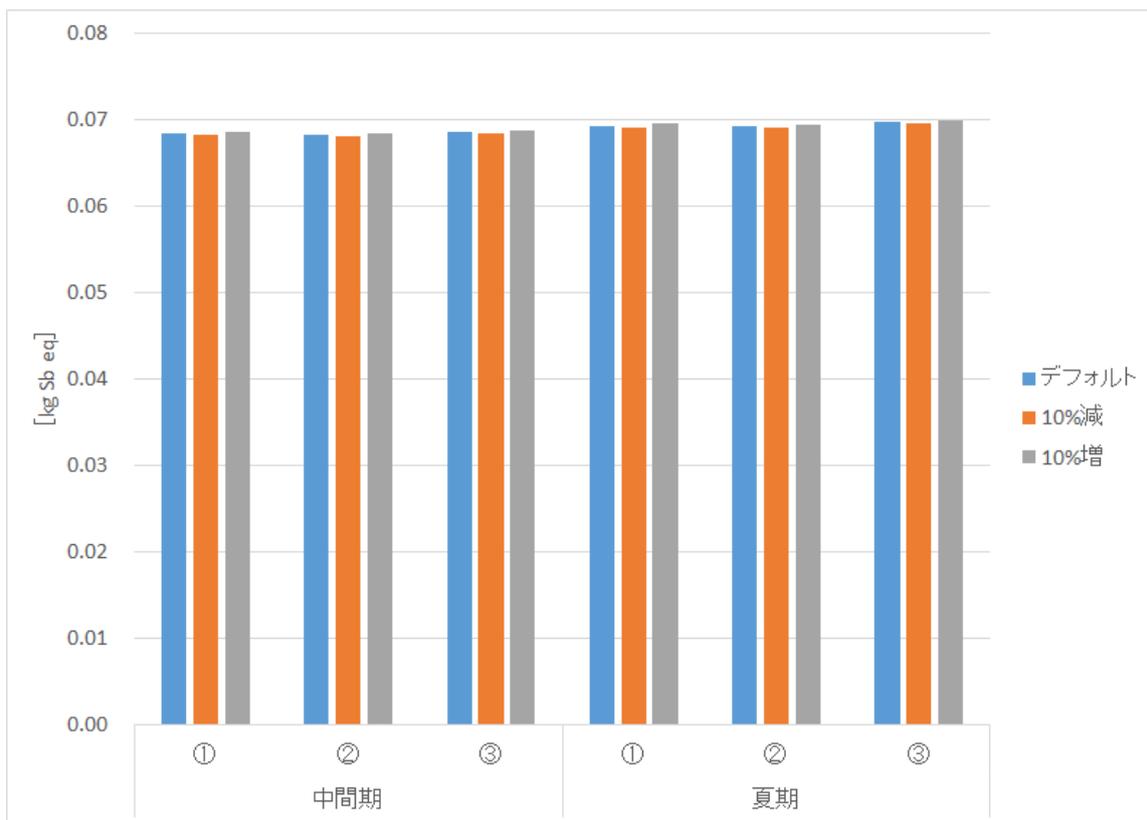


図 6-4 CML によるルテニウムの使用量の変更に伴う環境影響の変化：非生物資源枯渇

### 6.1.2 システムの使用地域

ここでは、システムを使用する地域として欧州ではなく中国を想定した場合の評価結果の変化を分析した。システムの使用段階における都市ガス及び系統電力の消費に適用した二次データを表 6-1 に示す。

表 6-1 定置用燃料電池システムの使用段階のエネルギー消費に適用する二次データ：中国

項目	出典、二次データの名称
都市ガス	Heat, central or small-scale, natural gas {RoW}  market for heat, central or small-scale, natural gas
系統電力	Electricity, high voltage {CN}  market for

システムを使用する地域間での環境影響の比較について、CML を用いた評価のうち地球温暖化及び非生物資源枯渇を対象に行った。その結果を図 6-5（地球温暖化）及び図 6-6（非生物資源枯渇）に示す。

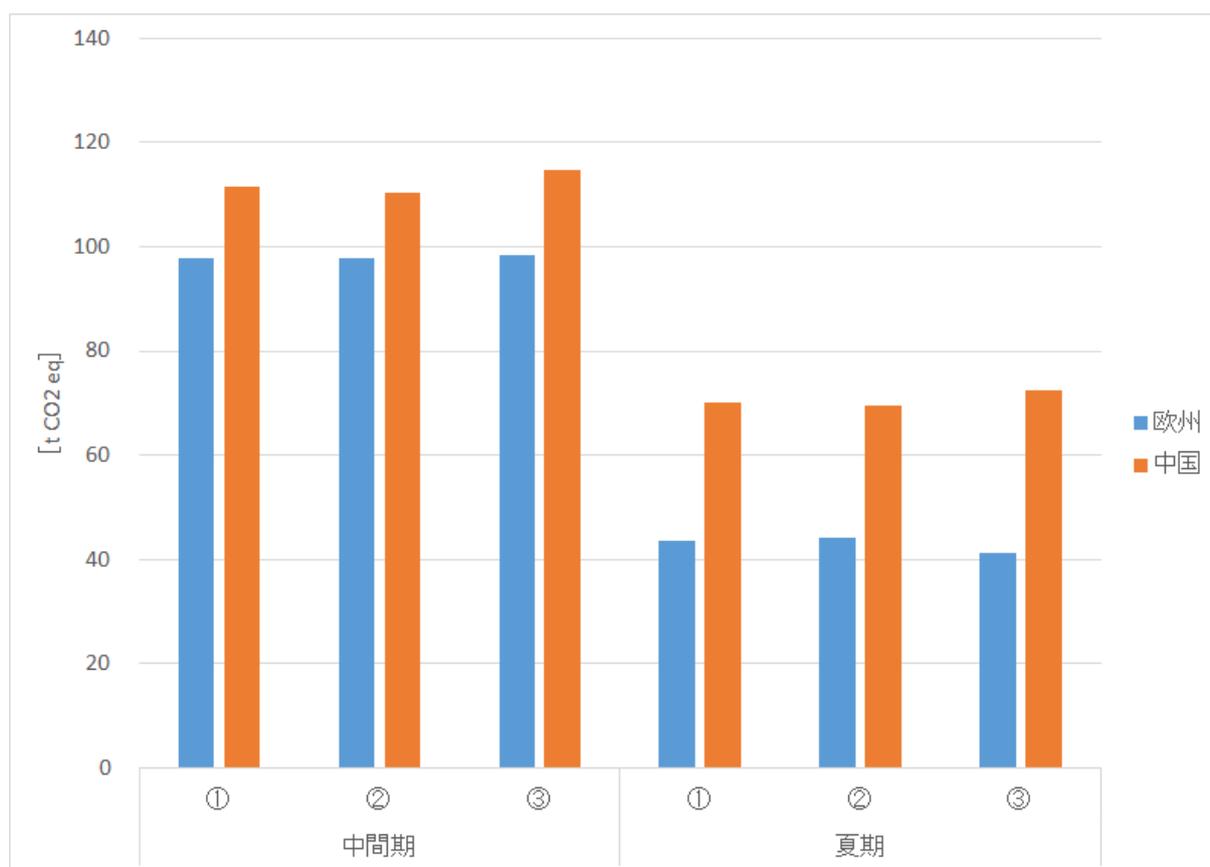


図 6-5 CML によるシステム使用地域間の評価結果の比較：地球温暖化

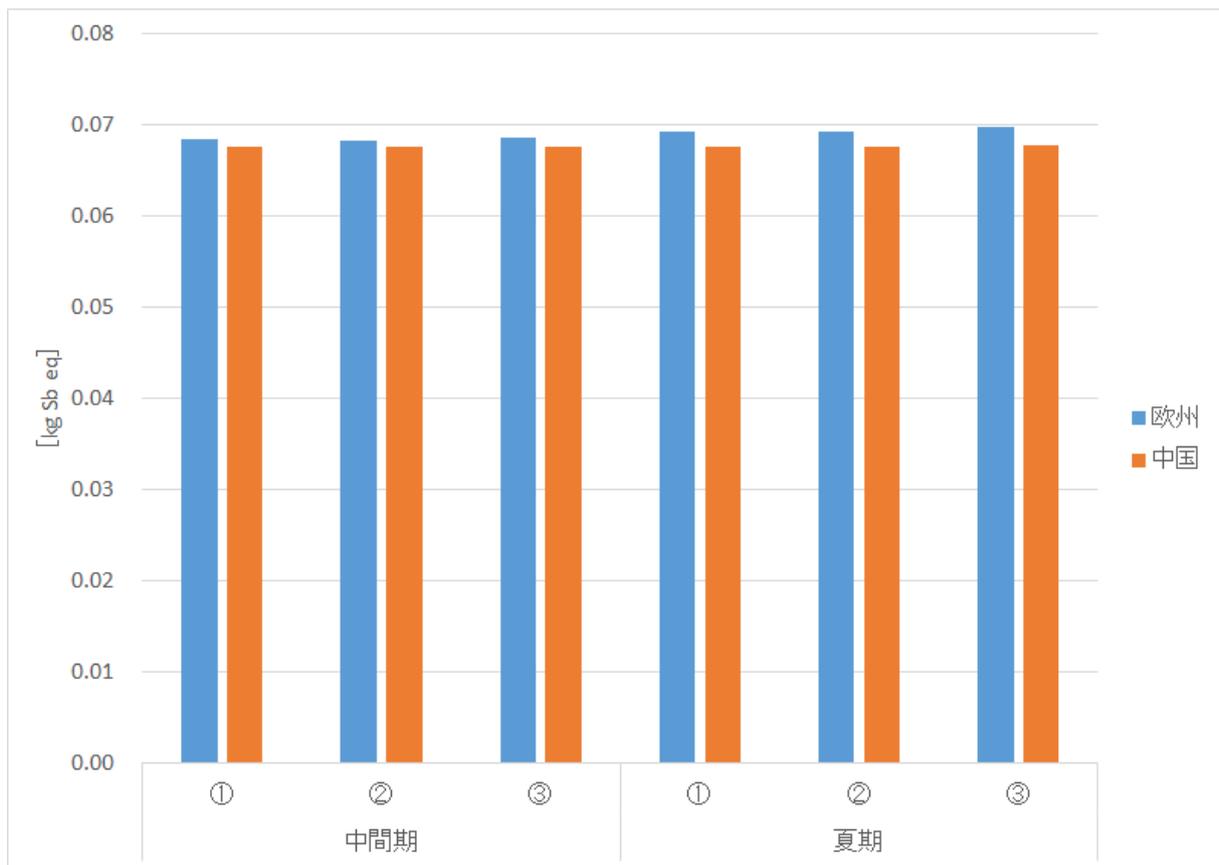


図 6-6 CML によるシステム使用地域間の評価結果の比較：非生物資源枯渇

## 6.2 結果の解釈

ここまでの評価及び分析の内容を基に、評価結果の解釈を行った。その内容を以下に記す。

### 6.2.1 影響領域別の傾向

本調査で採用した環境影響評価手法のいずれにおいても、ライフサイクル段階における環境影響の比率は影響領域ごとに表 6-2 の通りとなった。

表 6-2 ライフサイクル段階における環境影響の比率 影響領域別の傾向

傾向	影響領域
使用段階における環境影響が主	非生物資源枯渇（鉱物）及び毒性系以外の影響領域 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地球温暖化／気候変動</li> <li>・ 酸性化</li> <li>・ 光化学オキシダント生成</li> <li>・ オゾン層破壊</li> <li>・ 非生物資源枯渇（化石）</li> <li>・ 土地利用</li> <li>・ 富栄養化</li> <li>・ 電離放射線</li> <li>・ 粒子状物質</li> <li>・ オゾン生成</li> </ul>
素材・部品製造段階における環境影響が主	非生物資源枯渇（鉱物）
使用段階と素材・部品製造段階の環境影響が同程度	毒性系の影響領域 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水圏の生態毒性については、廃棄段階における環境影響も同程度</li> </ul>

尚、環境フットプリントの影響評価手法（JRC [2011]）では、対象とする各影響領域の評価モデルの堅牢性を分析した結果、それぞれの推奨度を以下の3つのレベルに分類している。

- ・ I : 推奨の要件を充分満たしている
- ・ II : 推奨可能だが一部改善が求められる
- ・ III : 注意して利用する必要がある

JRC [2011] における各影響領域の評価モデル推奨度の分類を表 6-3 に示す。毒性系の影響領域はいずれも推奨度の分類がⅢに達しており、評価の指標としての優先度は低いといえることができる。

表 6-3 JRC [2011] における各影響領域の評価モデルの推奨度

影響領域	分類
Climate change	I
Ozone depletion	I
Human toxicity, non-cancer effects	II/III
Human toxicity, cancer effects	II/III
Particulate matter	I
Ionizing radiation	II
Photochemical ozone formation	II
Acidification	II
Terrestrial eutrophication	II
Freshwater eutrophication	II
Marine eutrophication	II
Freshwater ecotoxicity	II/III
Land use	III
Water resource depletion	III
Abiotic resource depletion	II

## 6.2.2 シナリオ間の比較

5.1.3 で実施したシナリオ間の比較から、使用段階におけるシナリオの違いは地球温暖化の評価結果に対しては大きな影響を及ぼす反面、非生物資源枯渇（枯渇）の評価結果に対してはほとんど影響を及ぼさないといえることができる。

地球温暖化の評価に関しては、夏期に比べて中間期の方で環境影響が大きくなるが、使用段階に消費される電力に由来する環境影響に関しては、中間期よりも夏期の方が大きい。またシナリオに依らず、総じて都市ガス由来の環境影響の方が電力由来の環境影響よりも大きい結果となっている。

## 6.2.3 触媒の使用量

6.1.1 で実施した触媒の使用量に関する感度分析の結果から、以下の点を指摘することが可能である。

- ・ 触媒の使用量の変化は、地球温暖化の評価結果に対してはほとんど影響を与えないが、非生物資源（鉍物）の評価結果に対しては僅かながら影響を確認することができる
- ・ 触媒に用いられる金属が非生物資源（鉍物）の評価結果に対して与える影響のうち、プラチナの使用量の変化が与える影響の方が、ルテニウムの使用量の変化が与える影響に比べて大きい
  - － これは、CML [2012] において設定されている非生物資源（鉍物）の特性化係数がルテニウムを対象としていないことが理由である
  - － よって、ルテニウムの使用量の変化が非生物資源（鉍物）の評価結果に対して与える影響は、ルテニウムの使用に伴い付随的に消費されると見做される他の金属元素に由来するものである

#### 6.2.4 システムの使用地域

6.1.2 で実施したシステムの使用地域に関する感度分析の結果から、使用地域を欧州から中国へ変更した場合、地球温暖化の評価結果に与える影響は大きいですが、非生物資源（鉱物）の評価結果に与える影響は小さいといえることができる

## 7. まとめ

本調査における評価の結果から、定置用燃料電池システムのうち、都市ガス改質形エネファームを対象としたライフサイクルにおける環境影響を簡易的に評価するにあたっては、使用パターンのシナリオや使用される地域の違いを評価する場合は地球温暖化／気候変動を、また触媒に用いられる金属の使用量の違いを評価する場合は非生物資源枯渇（鉱物）を評価の指標として用いることが有効であると言える。

今後は、純水素型燃料電池を対象に同様の評価を行うと共に、都市ガス改質形エネファームを対象とした評価についても、必要に応じて更なる精緻化を図るものとする。

## 8. 参照資料

- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO), 社団法人産業環境管理協会 (JEMAI) [1995]: 「平成6年度事業報告書 エネルギー使用合理化手法国際調査」, 平成7年3月
- 財団法人日本エネルギー経済研究所 [1999]: 「わが国における化石エネルギーに関するライフサイクル・インベントリー分析」, <http://eneken.ieej.or.jp/data/old/pdf/enekei/lci.pdf>
- 社団法人日本航空宇宙工業会 [1999]: 「複合材料のインベントリデータ構築に関する報告書」
- みずほ情報総研株式会社 [2005]: 「平成16-17年度成果報告書 燃料電池自動車の普及に関連する技術に対するライフサイクル影響評価等に関する調査」
- International Organization for Standardization (ISO) [2006-1]: “Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework”, ISO 14040: 2006
- International Organization for Standardization (ISO) [2006-2]: “Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines”, ISO 14044: 2006
- みずほ情報総研株式会社 [2008]: 「平成19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 定置用燃料電池システム及び燃料電池自動車のライフサイクル評価に関する調査」
- GHG Protocol [2011]: “Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard”, [http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard\\_041613.pdf](http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf)
- Joint Research Centre (JRC) [2011]: “Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context - based on existing environmental impact assessment models and factors”, First edition, ILCD handbook, EUR 24571 EN – 2011, <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Recommendation-of-methods-for-LCIA-def.pdf>
- Institute of Environmental Sciences Faculty of Science, Leiden University (CML) [2012]: “CML-IA version 4.1”, October 2012
- 環境省 [2015]: 「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」, <https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran2015.pdf>
- P.E.P. Association [2015]: “Product Category Rules for Electrical, Electronic and HVAC-R Products”, PCR-ed3-EN-2015 04 02 (2015), [http://www.pep-ecopassport.org/fileadmin/webmaster-fichiers/version\\_anglaise/PEP-PCR-ed3-EN-2015\\_04\\_02.pdf](http://www.pep-ecopassport.org/fileadmin/webmaster-fichiers/version_anglaise/PEP-PCR-ed3-EN-2015_04_02.pdf)
- Huijbregts, M.A.J.; Steinmann, Z.J.N.; Elshout, P.M.F.; Stam, G.; Verones, F.; Vieira, M.D.M.; Hollander, A.; Zijp, M.; Zelm, R.V. [2016]: “ReCiPe 2016 : A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization”, RIVM Report 2016-0104, <http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=b0c868fc-15af-4700-94cf-e0fd4c19860e&type=pdf&disposition=inline>
- ecoinvent centre [2017]: “ecoinvent version 3.4”
- 国立研究開発法人建築研究所 [2017]: 「家庭用燃料電池試験基準及び運用の指針」, [http://www.kenken.go.jp/becc/documents/house/testing\\_method\\_fc\\_v03\\_170214.pdf](http://www.kenken.go.jp/becc/documents/house/testing_method_fc_v03_170214.pdf)

- LCA 日本フォーラム (JLCA) [2018] : 「JLCA-LCA データベース 2018 年度 3 版」 ,  
<http://lca-forum.org/database/>
- PRe Consultants : “SimaPro” , <https://simapro.com/>

# 定置用燃料電池システムのライフサイクル 評価に関する調査 報告書

2020年2月

**みずほ情報総研株式会社**  
Mizuho Information & Research Institute, Inc.

名称：定置用燃料電池システムのライフサイクル評価に関する調査

[作成] みずほ情報総研株式会社 環境エネルギー第2部 環境エネルギー政策チーム

〒101-8443 東京都千代田区神田錦町 2-3

TEL：03-5281-5329 FAX：03-5281-5466

URL：<https://www.mizuho-ir.co.jp/index.html>

E-mail：[yasushi.furushima@mizuho-ir.co.jp](mailto:yasushi.furushima@mizuho-ir.co.jp), [hiroyuki.uchida@mizuho-ir.co.jp](mailto:hiroyuki.uchida@mizuho-ir.co.jp)

## － 目 次 －

1. はじめに.....	1
2. 調査の目的の設定.....	2
2.1 意図する用途.....	2
2.2 調査をするための理由.....	2
2.3 意図する伝達先.....	2
3. 調査範囲の設定.....	3
3.1 調査対象の製品システム.....	3
3.2 機能単位.....	5
3.3 システム境界.....	6
3.4 配分の手順.....	7
3.5 前提条件.....	7
4. ライフサイクルインベントリ分析.....	12
4.1 素材・部品製造段階.....	12
4.2 システム製造段階.....	23
4.3 システム使用段階.....	24
4.4 システム廃棄処理段階.....	24
5. ライフサイクル影響評価.....	26
5.1 CML.....	26
5.2 環境フットプリント.....	31
5.3 ReCiPe.....	40
6. 結果の解釈.....	49
6.1 都市ガス改質形エネファームとの比較.....	49
6.2 結果の解釈.....	53
7. まとめ.....	56
8. 参照資料.....	57



## 1. はじめに

本調査は、一般社団法人日本電機工業会（JEMA）が NEDO 委託調査「燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査」において行う、燃料電池システムを対象としたライフサイクルアセスメント（LCA）のうち、JEMA が提供するデータを基に LCA 用市販ソフトウェアを用いた計算によりイベントリ分析、環境影響評価、ホットスポット分析を行うものである。

燃料電池技術は環境負荷の低減の観点において最も貢献するものと目されており、我が国では温室効果ガス排出量の抑制の観点からエネルギー効率の向上に重点が置かれてきたが、環境先進地域である欧州では、既にエネルギー効率の向上のみならず資源枯渇、酸性雨、大気汚染、人間毒性等、様々な環境影響を考慮したマルチクライテリアでの評価が進められている。今後我が国が開発、保有している燃料電池技術のグローバルな事業展開を検討する上では、このような環境影響評価を考慮することは不可欠である。

以上のような背景を踏まえ、2018 年度調査では評価の対象を都市ガス改質形エネファームとして、マルチクライテリアの評価を実施した。それに引き続き、本調査では評価の対象を純水素形燃料電池として、マルチクライテリアの評価を実施するものである。

## 2. 調査の目的の設定

### 2.1 意図する用途

家庭用燃料電池を対象としたライフサイクル影響評価及びホットスポット分析の実施を通して、ライフサイクル影響評価手法の簡易化の方向性を検討する際の参考となる情報を提供することが、本調査の意図する用途である。

### 2.2 調査をするための理由

家庭用燃料電池を評価対象製品、気候変動や非生物資源枯渇等の複数の環境影響領域を評価指標としたライフサイクル影響評価を実施し、その結果を基にホットスポット分析を行うことで、重要度の高い環境影響領域やプロセスを特定することを目的とする。

### 2.3 意図する伝達先

本調査は NEDO 委託調査「燃料電池システムの海外展開に係る要求仕様調査」の一環として行うものであり、意図する伝達先は NEDO 次世代電池・水素部 燃料電池・水素グループである。

### 3. 調査範囲の設定

#### 3.1 調査対象の製品システム

本調査で評価対象とする定置用燃料電池システムの仕様は、みずほ情報総研 [2008] の記載内容や JEMA から提供を受けた情報を基に表 3-1 の通りとした。尚、本調査における評価の対象は先述の通り純水素形燃料電池であり、燃料電池に加えて補助バーナーについても、純水素を燃料として用いることを想定している。補助バーナーの熱効率については、JEMA より提供を受けた情報を基に 88.3% (LHV) とした。

表 3-1 評価対象とする定置用燃料電池システムの仕様

項目	仕様数値	根拠
燃料電池種別	純水素形燃料電池	
利用形態/設置形態	家庭用/屋外基礎据付	
使用年数	10 年	みずほ情報総研 [2008]
燃料電池ユニット		
発電効率 (定格)	55% (LHV)	JEMA ご提供情報
熱回収効率 (定格)	35% (LHV)	JEMA ご提供情報
運転方式	電力負荷追従 熱負荷充当	
ターンダウン	0.3	みずほ情報総研 [2008]
使用燃料種	純水素	
定格出力	700W	
システム構成機器	燃料電池スタック インバータ 排熱回収装置 熱交換器 配線・ケーブル イオン交換塔 ケース	
貯湯ユニット		
貯湯タンク容量	140L	JEMA ご提供情報
貯湯温度	約 60℃	JEMA ご提供情報
水道水温度	17℃	みずほ情報総研 [2008]
導入対象先	戸建て住宅/集合住宅 (1 世帯あたりで評価)	
使用年数	10 年	
システム構成機器	貯湯槽 補助バーナー	

表 3-1 に示した仕様を満たすシステムとして、みずほ情報総研 [2008] の記載内容や JEMA から提供を受けた情報を基に、本調査で評価対象とする定置用燃料電池システムの素材構成を表 3-2 (燃料電池スタック)、表 3-3 (システム全体) の通りとした。

表 3-2 燃料電池スタックの素材構成

素材名			質量 [kg]	出典、備考	
固体高分子膜	膜	パーフルオロスルホン 酸系電解質膜	0.0888	定格出力 1kW の定置用燃料電池システムを対象としたみずほ情報総研 [2008] の素材構成に対し、0.6 乗則を適用し推計	
	バインダ	パーフルオロスルホン 酸系樹脂	0.00646		
電極 (拡散層)		炭素繊維	0.404		
触媒	白金	白金	0.004		JEMA ご提供情報
	カーボンブラック	カーボンブラック	0.008		
セパレータ		人造黒鉛	3.88		
		フェノール樹脂	0.969		
シール		フッ素ゴム	0.202		
集電板		銅	2.18		
端板		ステンレス	5.09		
その他周辺部品		鉄	3.31		
合計			16.1	計算値	

表 3-3 定置用燃料電池システム全体の素材構成

			質量 [kg]	出典、備考	
燃料電池 ユニット	燃料電池スタック		16.1	表 3-2	
	その他	インバータ	鉄	3.07	定格出力 1kW の定置用燃料電池システムを対象と したみずほ情報総研 [2008] の素材構成に対し、0.6 乗則を適用し推計
			アルミ	0.727	
			その他非鉄	0.323	
			樹脂	1.969	
		ポンプ、ブロー	鉄	7.67	
		熱交換器	鉄	6.46	
		排熱回収装置	鉄	6.46	
		配線・ケーブル <sup>1</sup>	銅	4.60	
			樹脂 (PVC)	3.47	
	ケース	鉄	24.2		
イオン交換等 (水処理装置)	鉄	2.91			
燃料電池ユニット 計			77.0	計算値	
貯湯 ユニット	貯湯槽	鉄	47.4	総重量：JEMA ご提供情報 素材構成：部品、その他の 重量はみずほ情報総研 [2008] と同様とし、それ 以外の素材の構成比はみ ずほ情報総研 [2008] に準 じた	
		部品、その他	2.60		
	補助バーナー	鉄	23.2		
		アルミ	2.40		
		その他非鉄	9.90		
		樹脂	1.10		
	部品、その他	1.40			
貯湯ユニット 計			88.0	計算値	
合計			165.0	計算値	

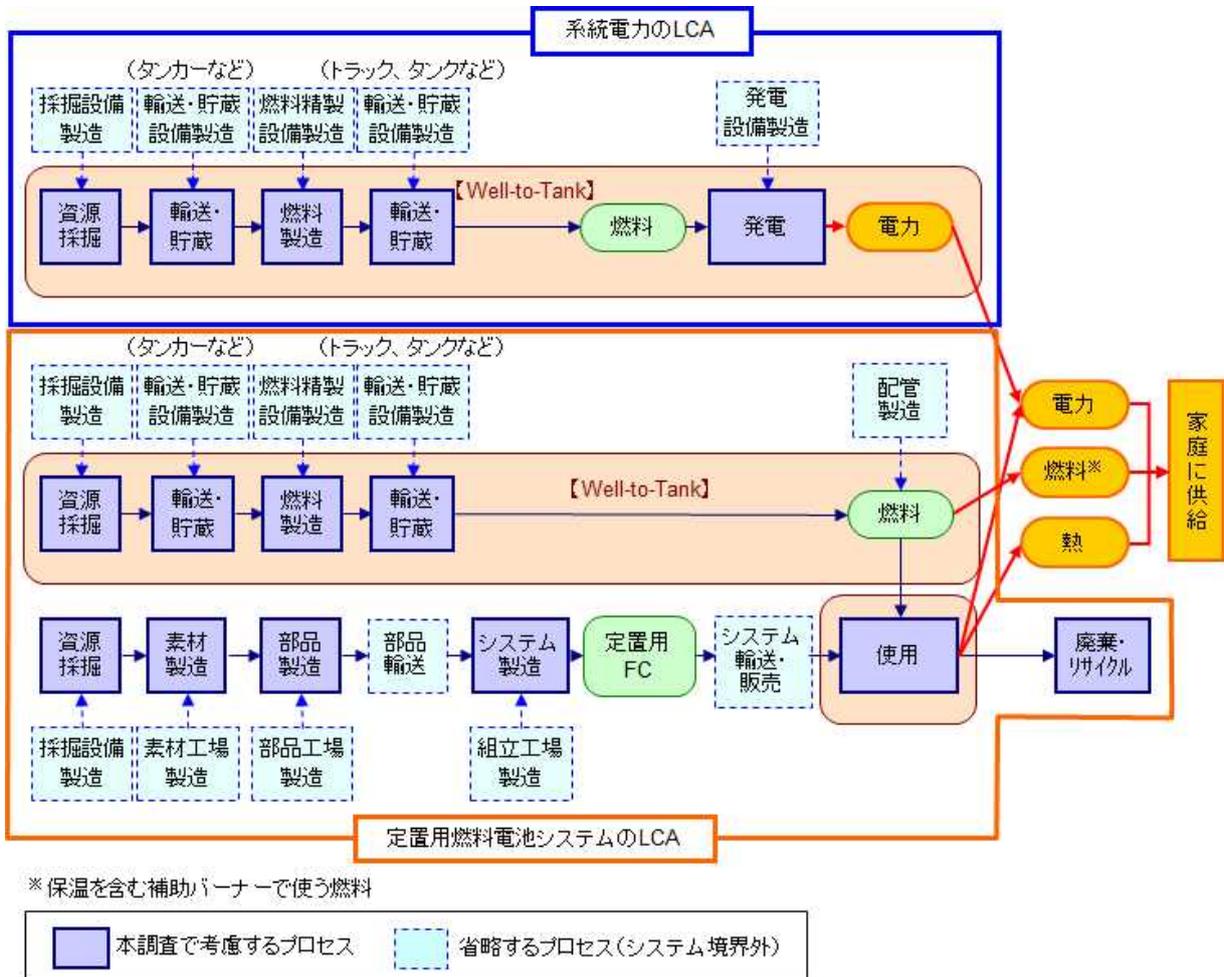
### 3.2 機能単位

本調査で評価の対象とする定置用燃料電池システムの機能単位は、システム 1 台が一般家庭における電力及び給湯の需要を使用年数 (表 3-1 より 10 年) の間満たすこと、とした。一般家庭における電力及び給湯の需要量については、建築研究所 [2017] において設定された日本の中間期 (春・秋) 又は夏期の標準住宅における需要量を採用した。

<sup>1</sup> みずほ情報総研 [2008] では配線・ケーブル (10kg) の構成素材を全て鉄としているが、正しくは非鉄 (銅) が 5.7kg、樹脂 (PVC) が 4.3kg である。

### 3.3 システム境界

本調査における定置用燃料電池システムのシステム境界は、みずほ情報総研 [2008] の記載内容に従い図 3-1 の通りとした。



尚、本調査においては、カットオフは実施していない。また本調査で参照したみずほ情報総研 [2005] 及びみずほ情報総研 [2008] の 2 つの報告書でのカットオフの考え方は表 3-4 の通りとされていることから、燃料電池本体を構成する素材及び部品に対してはカットオフは行われていないといえる。

表 3-4 みずほ情報総研 [2005] 及びみずほ情報総研 [2008] におけるカットオフの考え方

参考文献	カットオフの考え方
みずほ情報総研 [2005] (燃料電池自動車を対象とした評価)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 比較対象であるガソリン車に対して、投入重量が 1kg 未満の素材や部品をカットオフ</li> <li>・ 燃料電池自動車については、重量比に関係なく、ガソリン車と同じ素材や部品をカットオフ               <ul style="list-style-type: none"> <li>－ 燃料電池自動車に固有の素材や部品に対しては、カットオフは行っていない</li> </ul> </li> </ul>
みずほ情報総研 [2008] (定置用燃料電池を対象とした評価)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 比較対象であるガス給湯器に対して、全投入量（約 20kg）の 0.2% 未満（40g 未満）である素材や部品を製造するプロセスをカットオフ</li> <li>・ 定置用燃料電池システムについては、バックアップバーナーとして上記のガス給湯器をそのまま搭載し、その部分のカットオフはガス給湯器にならうものとした</li> <li>・ その他の部品については、特別にカットオフなどの操作は行っていない</li> </ul>

### 3.4 配分の手順

配分の手順については、本調査では ISO14044 において規定されている以下の優先順位を採用するものとした。

- ① プロセスの細分化による配分の回避
- ② 物理的關係に基づく配分
- ③ 経済価値等、その他の關係に基づく配分

### 3.5 前提条件

3.2 で示した機能単位に関連して、システムは基本的には電力需要に応じて稼働するものとした。また貯湯槽が満杯になった場合への対応として、以下の 3 つのシナリオを設定した。

- ① システムの稼働を停止する
- ② 湯を捨てて電力需要に応じた稼働を続ける

システムの稼働状況により電力及び給湯の供給量が需要量を満たさない場合は、電力については系統電力、給湯については補助バーナー（純水素利用）を用いて需要を満たすものとした。

以上の条件を基にシステムを 10 年間稼働させた場合の電力及び純水素の消費量を表 3-5（中間期）及び表 3-6（夏期）に示す。これらのデータは建築研究所 [2017] を基に行ったシミュレーションの結果であり、本調査の実施にあたり JEMA よりご提供いただいたものであり、1 日の消費電力及び給湯需要の推移はそれぞれ図 3-2（中間期）及び図 3-3（夏期）の通りとなる。

表 3-5 電力及び純水素の消費量 一覧：中間期

項目		単位	値		根拠
			①	②	
FC 効率	発電効率		55%	55%	JEMA ご提供情報
	熱回収効率		35%	35%	JEMA ご提供情報
補助バーナー効率			88.3%	88.3%	JEMA ご提供情報
使用シナリオ	FC 発電量	[kWh/日]	8.91	8.91	JEMA ご提供情報 (建築研究所 [2017] に基いたシミュレーション結果)
	熱需要量	[MJ/日]	288	288	JEMA ご提供情報 (建築研究所 [2017] に基いたシミュレーション結果)
水素使用量	FC	[MJ/日]	58.3	58.3	FC 発電量 ÷ 発電効率 × 3.6
	補助バーナー	[MJ/日]	303	303	(熱需要量 - FC 向け都市ガス使用量 × 熱回収効率) ÷ 補助バーナーの効率
	合計	[MJ/日]	361	361	上記の 2 つの値の合計
	〃 (生涯)	[MJ]	1,317,809	1,317,809	合計値 × 365 日 × 10 年
		[Nm <sup>3</sup> ]	122,246	122,246	水素の発熱量を 10.78MJ/Nm <sup>3</sup> と仮定し換算
系統電力使用量	1 日あたり	[kWh/日]	3.14	3.14	JEMA ご提供情報 (建築研究所 [2017] に基いたシミュレーション結果)
	生涯	[kWh]	11,445	11,445	1 日あたり系統電力使用量 × 365 日 × 10 年

表 3-6 電力及び純水素の消費量 一覧：夏期

項目		単位	値		根拠
			①	②	
FC 効率	発電効率		55%	55%	JEMA ご提供情報
	熱回収効率		35%	35%	JEMA ご提供情報
補助バーナー効率			88.3%	88.3%	JEMA ご提供情報
使用シナリオ	FC 発電量	[kWh/日]	10.13	10.13	JEMA ご提供情報 (建築研究所 [2017] に基いたシミュレーション結果)
	熱需要量	[MJ/日]	32.4	32.4	JEMA ご提供情報 (建築研究所 [2017] に基いたシミュレーション結果)
水素使用量	FC	[MJ/日]	66.3	66.3	FC 発電量 ÷ 発電効率 × 3.6
	補助バーナー	[MJ/日]	10.4	10.4	(熱需要量 - FC 向け都市ガス使用量 × 熱回収効率) ÷ 補助バーナーの効率
	合計	[MJ/日]	76.7	76.7	上記の 2 つの値の合計
	" (生涯)	[MJ]	280,011	280,011	合計値 × 365 日 × 10 年
		[Nm3]	25,975	25,975	水素の発熱量を 10.78MJ/Nm3 と仮定し換算
系統電力使用量	1 日あたり	[kWh/日]	9.60	9.60	JEMA ご提供情報 (建築研究所 [2017] に基いたシミュレーション結果)
	生涯	[kWh]	35,035	35,035	1 日あたり系統電力使用量 × 365 日 × 10 年

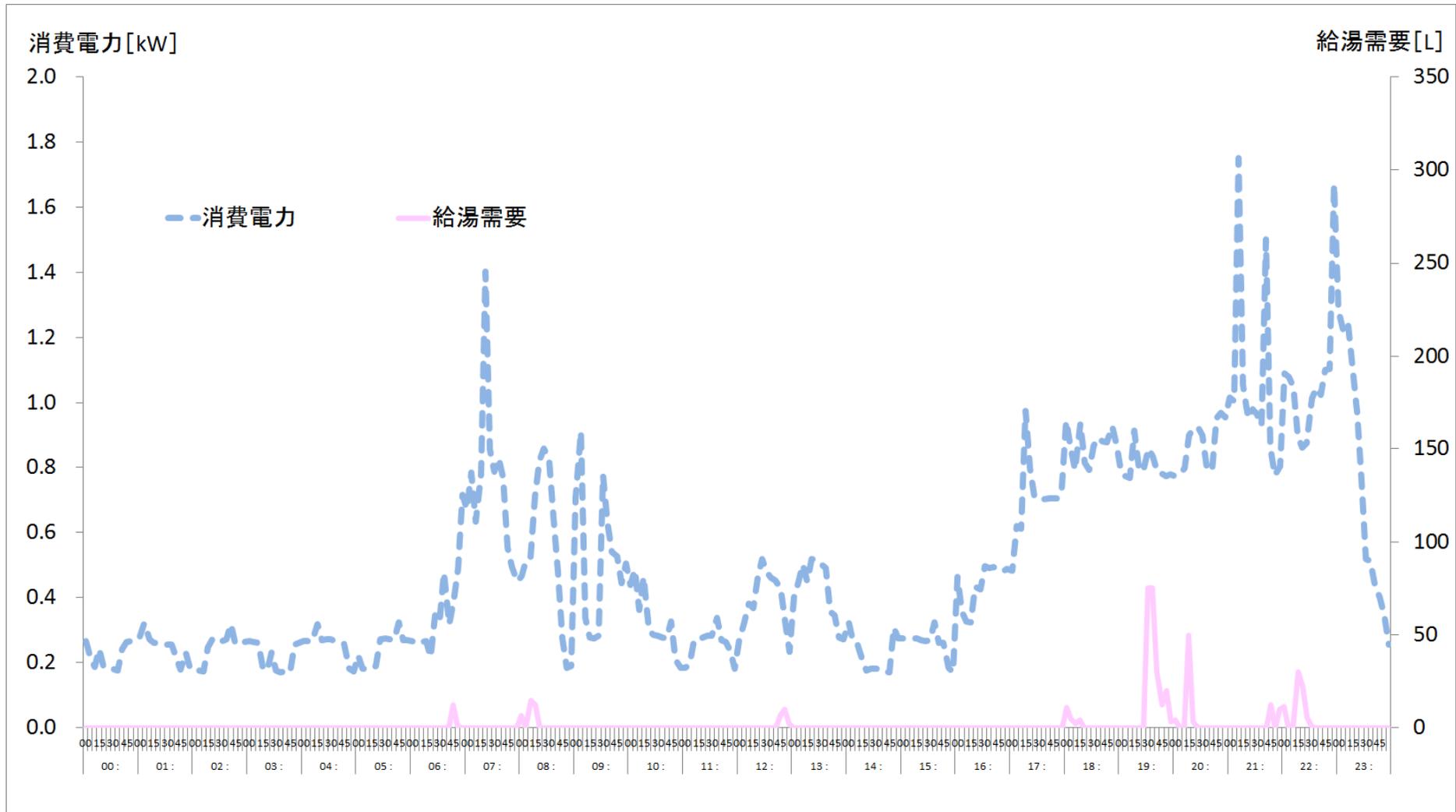


図 3-2 中間期における 1 日の消費電力及び給湯需要

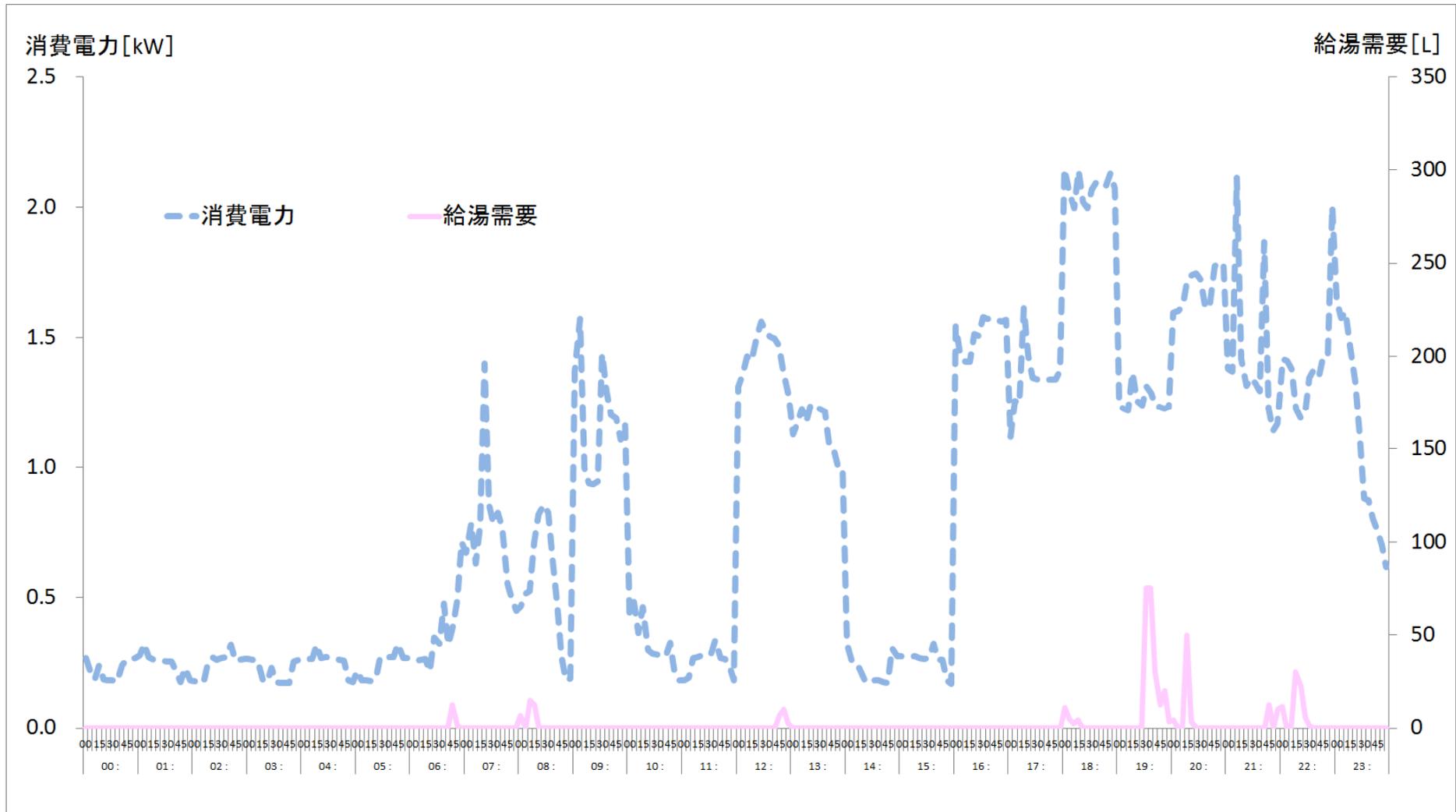


図 3-3 夏期における 1 日の消費電力及び給湯需要

## 4. ライフサイクルインベントリ分析

ここでは、本調査におけるライフサイクルインベントリ分析の実施にあたり設定したプロセスの入出力情報及び二次データへの対応付けについて示す。

尚、本調査では、二次データとして ecoinvent version 3.4 (“allocation, at point of substitution”モデル) を、また LCA ソフトウェアとして SimaPro version 9.0.0.49 を採用した。SimaPro を使用した評価結果の算出にあたっては、インフラ製造プロセスは除外する設定で計算を行った。

### 4.1 素材・部品製造段階

#### 4.1.1 固体高分子膜

本調査では、固体高分子膜としてパーフルオロスルホン酸系電解質膜の適用を想定した。パーフルオロスルホン酸系電解質膜の製造プロセスフローを図 4-1 に示す。

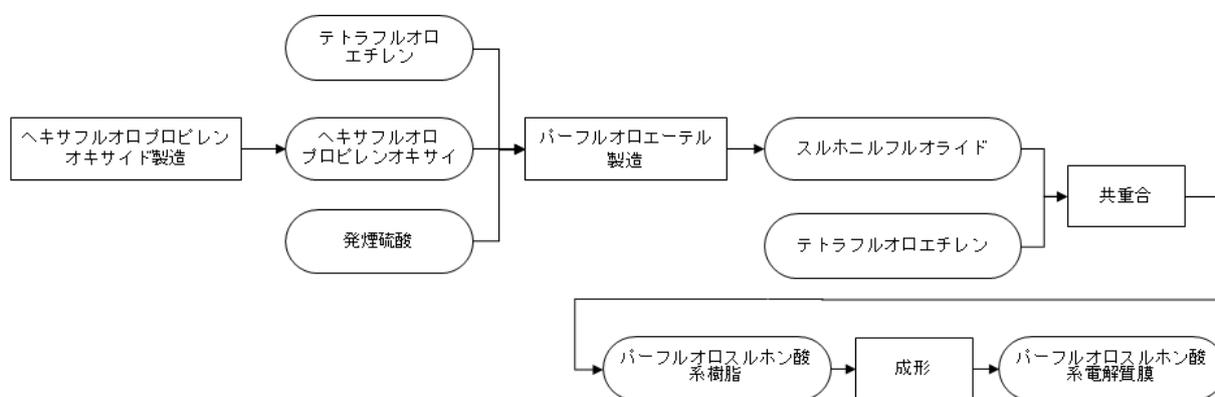


図 4-1 パーフルオロスルホン酸系電解質膜の製造プロセスフロー

ヘキサフルオロプロピレンオキシド製造プロセスの入出力情報は、みずほ情報総研 [2005] を参照した。ただし、みずほ情報総研 [2005] では燃料としてナフサを計上しているが、本調査では天然ガス由来の工業用熱供給を採用するものとし、ナフサの重量から低位発熱量への返還については以下の各パラメーターを適用した。

- ・ ナフサの比重 : 0.7274kg/L (出典: NEDO, JEMAI [1995])
- ・ ナフサの高位発熱量 : 33.6MJ/L (出典: 環境省 [2015])
- ・ 発熱量の換算係数 : 0.93 (出典: 日本エネルギー経済研究所 [1999])

尚、燃料用途のナフサの取り扱いについては、以後の各プロセスでもこれらのパラメーターを用いて換算し、二次データには天然ガス由来の工業用熱供給を適用した。

以上の内容を基に、本調査で設定したヘキサフルオロプロピレンオキシド製造プロセスの入出力情報を、適用した二次データを含め表 4-1 に示す。

表 4-1 ヘキサフルオロプロピレンオキサイド製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	CHCl <sub>3</sub>	0.749 kg	Trichloromethane {GLO}  market for
	HF	0.251 kg	Hydrogen fluoride {GLO}  market for
	酸素	0.096 kg	Oxygen, liquid {GLO}  market for
投入エネルギー	ナフサ	0.003 kg (0.128 MJ)	Heat, district or industrial, natural gas {GLO}  market group for
	電力	0.0004 kWh	Electricity, high voltage {GLO}  market group for
生産物	ヘキサフルオロプロピレンオキサイド	1.000 kg	—

スルホニルフルオライド基含有パーフルオロエーテル製造プロセスの入出力情報についても、みずほ情報総研 [2005] を参照した。その内容及び適用した二次データを表 4-2 に示す。尚、副生する O=CF<sub>2</sub> については、みずほ情報総研 [2005] に従い製品とは考えず、入出力量の配分は行わなかった。

表 4-2 パーフルオロエーテル製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	テトラフルオロエチレン	0.224 kg	Tetrafluoroethylene {GLO}  market for
	テトラフルオロプロピレンオキサイド	0.744 kg	表 4-1
	無水硫酸	0.179 kg	Sulfur trioxide {GLO}  market for
投入エネルギー	ナフサ	0.011 kg (0.47 MJ)	Heat, district or industrial, natural gas {GLO}  market group for
生産物	スルホニルフルオライド基含有パーフルオロエーテル	1.000 kg	—
副生物	O=CF <sub>2</sub>	0.148 kg	—

パーフルオロスルホン酸系樹脂は、スルホニルフルオライド基含有パーフルオロエーテルとテトラフルオロエチレンを共重合（乳化重合、もしくは懸濁重合）させることで製造される。この共重合プロセスの入出力情報も、同様にみずほ情報総研 [2005] を参照した。その

内容及び適用した二次データを表 4-3 に示す。

表 4-3 共重合プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	スルホニルフルオライド基含有パーフルオロエーテル	0.471 kg	表 4-2
	テトラフルオロエチレン	0.529 kg	Tetrafluoroethylene {GLO}  market for
投入エネルギー	ナフサ	5.000 kg (215 MJ)	Heat, district or industrial, natural gas {GLO}  market group for
	スチーム	70.000 kg	Steam, in chemical industry {GLO}  market for
生産物	パーフルオロスルホン酸系樹脂	1.000 kg	—

パーフルオロスルホン酸系電解質膜は、パーフルオロスルホン酸系樹脂を成形することで製造される。またその成形方法は、みずほ情報総研 [2005] によれば押し出し成形あるいはキャスト成膜であるとされている。本調査では、本プロセスの入出力情報として LCA プロジェクトデータ (JLCA [2018]) の「樹脂の押し出し加工」(データ ID : 000796) のデータを採用した。その内容及び適用した二次データを表 4-4 に示す。

尚、固体高分子膜のバイндаについても、パーフルオロスルホン酸系電解質膜と同様のプロセスで製造されるものとした。

表 4-4 成形プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	パーフルオロスルホン酸系樹脂	1.043 kg	表 4-3
投入エネルギー	電力	0.901 kWh	Electricity, high voltage {GLO}  market group for
生産物	パーフルオロスルホン酸系電解質膜	1.000 kg	—
廃棄物	固形廃棄物	0.043 kg	Waste plastic, mixture {RoW}  treatment of waste plastic, mixture, municipal incineration

#### 4.1.2 触媒

燃料電池スタックに用いられる典型的な触媒の製造プロセスフローを図 3-1 に示す。

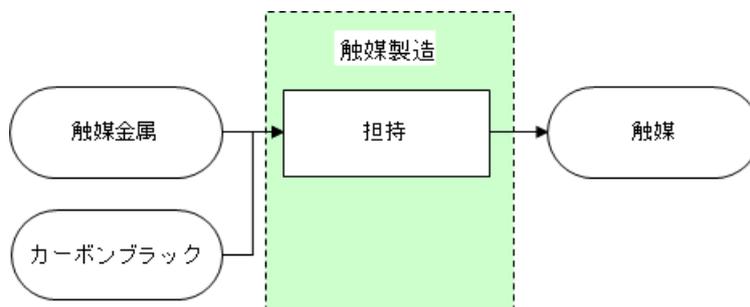


図 4-2 触媒の製造プロセスフロー

触媒製造プロセスの入出力情報については、みずほ情報総研 [2005] を参照した。ただし、触媒金属として用いられる白金とカーボンブラックの投入重量の比率は、JEMA よりご提供いただいた情報に従った。触媒製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-5 に示す。

表 4-5 触媒製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	白金	0.333 kg	Platinum {GLO}  market for
	カーボンブラック	0.667 kg	Carbon black {GLO}  market for
	塩酸 (HCl)	1.682 kg	Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RoW}  market for
	硝酸 (HNO <sub>3</sub> )	0.308 kg	Nitric acid, without water, in 50% solution state {GLO}  market for
	アンモニア (NH <sub>3</sub> )	0.116 kg	Ammonia, liquid {RoW}  market for
生産物	触媒	1.000 kg	—

#### 4.1.3 拡散層

本調査では、拡散層としてカーボンペーパーの適用を想定した。拡散層の製造プロセスフローを図 4-3 に示す。

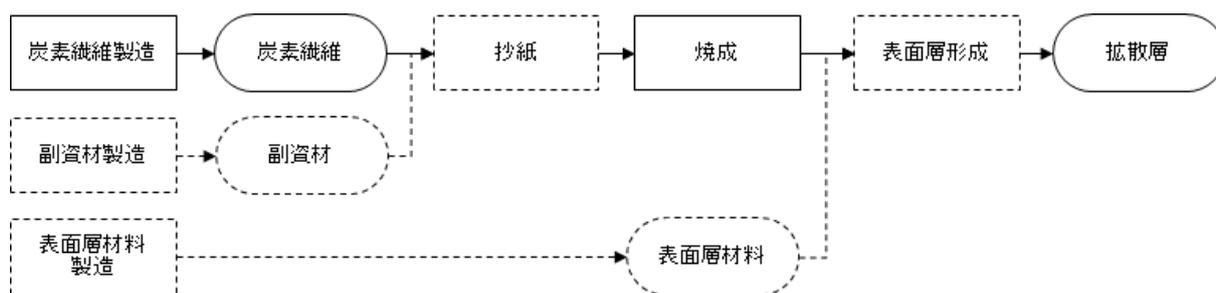


図 4-3 拡散層の製造プロセスフロー

尚、みずほ情報総研 [2005] では、副資材製造、抄紙、表面層材料製造、表面層形成の 4 つのプロセス（図 4-3 中の破線の箇所）は環境負荷が充分小さいとして無視をしていることから、本調査においてもこれらのプロセスに係る環境負荷を無視した。

カーボンペーパーの主原料である炭素繊維の製造プロセスについては、みずほ情報総研 [2005] と同様、日本航空宇宙工業会 [1999] から PAN 系炭素繊維製造プロセスの入出力情報を参照した。その内容及び適用した二次データを表 4-6 に示す。尚、二次データの代替の考え方も日本航空宇宙工業会 [1999] に従った。

表 4-6 PAN 系炭素繊維製造プロセスの入出力情報

項目	数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	アクリロニトリル	2.116 kg Acrylonitrile {GLO}  market for
	コモノマ	0.046 kg Acrylonitrile {GLO}  market for
	触媒	0.017 kg Acrylonitrile {GLO}  market for
	溶媒（補給量）	0.069 kg Acrylonitrile {GLO}  market for
	PAN 油剤	0.011 kg Propylene glycol, liquid {GLO}  market for
	電解質	0.022 kg Sulfuric acid {GLO}  market for
	炭素繊維サイズ剤	0.012 kg Epoxy resin {GLO}  market for epoxy resin
	水	13.703 kg Water, decarbonised, at user {GLO}  market for
	窒素	11.408 kg Nitrogen, liquid {RoW}  market for
投入エネルギー	電力	4.58 kWh Electricity, high voltage {GLO}  market group for
	蒸気	4.2 kg Steam, in chemical industry {GLO}  market for
生産物	PAN 系炭素繊維	1.000 kg —
排出物	CO2	1.793 kg Carbon dioxide, fossil
	NOx	0.001956 kg Nitrogen oxides

カーボンペーパーの製造にあたっては、添加した副資材を揮発・炭素化させるため、抄紙後に焼成プロセスが施される。焼成プロセスの入出力情報については、みずほ情報総研[2005]を参照した。その内容及び適用した二次データを表 4-7 に示す。

表 4-7 焼成プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	炭素繊維	1.000 kg	表 4-6
	副資材	0.000 kg	—
投入エネルギー	電力	0.865 kWh	Electricity, high voltage {GLO} market group for
生産物	カーボンペーパー	1.000 kg	—

#### 4.1.4 セパレーター

本調査では、セパレーターとしてカーボン樹脂モールドセパレーターの適用を想定した。セパレーターの製造プロセスフローを図 4-4 に示す。

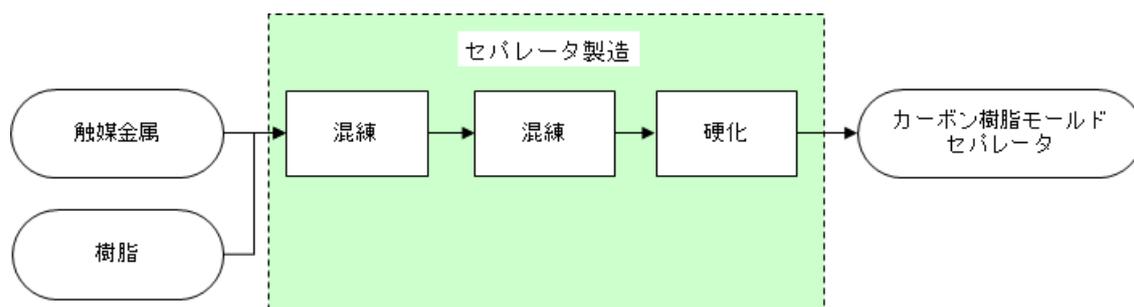


図 4-4 カーボン樹脂モールドセパレーターの製造プロセスフロー

セパレーター製造プロセスの入出力情報については、みずほ情報総研 [2005] の記載内容を基に、セパレーターの生成量の単位を 1kg あたりに設定し直した。またその際、導電材料と樹脂の投入重量比は JEMA よりご提供いただいた情報に準じた。その内容及び適用した二次データを表 4-8 に示す。

表 4-8 カーボン樹脂モールドセパレーター製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	導電材料	0.800 kg	Graphite {GLO} market for
	樹脂	0.200 kg	Phenolic resin {GLO} market for
投入エネルギー	電力	15.000 kWh	Electricity, high voltage {GLO} market group for
生産物	セパレーター	1.000 kg	—

#### 4.1.5 シール

本調査では、シールとしてふっ素ゴム（テトラフルオロエチレン・プロピレンゴム）シールの適用を想定した。シールの製造プロセスフローを図 4-5 に示す。

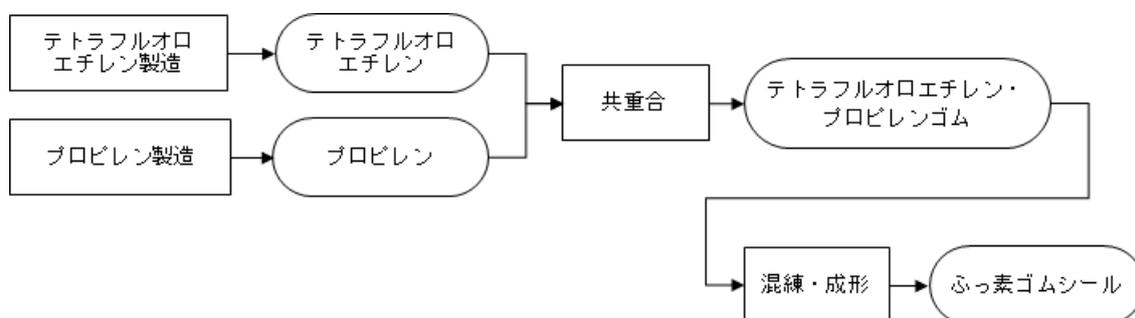


図 4-5 ふっ素ゴムシールの製造プロセスフロー

テトラフルオロエチレンとプロピレンの乳化重合による共重合プロセスの入出力情報は、みずほ情報総研 [2005] を参照した。その内容及び適用した二次データを表 4-9 に示す。

表 4-9 共重合プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	テトラフルオロエチレン	0.744 kg	Tetrafluoroethylene {GLO}  market for
	プロピレン	0.256 kg	Propylene {GLO}  market for
投入エネルギー	電力	0.500 kWh	Electricity, high voltage {GLO}  market group for
	スチーム	7.000 kg	Steam, in chemical industry {GLO}  market for
生産物	テトラフルオロエチレン・プロピレンゴム	1.000 kg	—

ふっ素ゴムをシールに加工する混練・成形プロセスの入出力情報についても、みずほ情報総研 [2005] を参照した。その内容及び適用した二次データを表 4-10 に示す。

表 4-10 混練・成形プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	テトラフルオロエチレン・プロピレンゴム	1.000 kg	表 4-9
投入エネルギー	電力	0.400 kWh	Electricity, high voltage {GLO}  market group for
生産物	シール	1.000 kg	—

#### 4.1.6 燃料電池スタック

表 3-2 で素材構成を示した燃料電池スタックについて、その製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-11 に示す。

表 4-11 燃料電池スタック製造プロセスの入出力情報

項目			数量・単位	出典、二次データの名称	
投入物	固体高分子膜	膜	パーフルオロスルホン酸系電解質膜	0.0888 kg	表 4-4
		バインダ	パーフルオロスルホン酸系電解質膜	0.00646 kg	表 4-4
	電極（拡散層）		炭素繊維	0.404 kg	表 4-7
	触媒		白金、カーボンブラック	0.012 kg	表 4-5
	セパレータ		人造黒鉛、フェノール樹脂	4.84 kg	表 4-8
	シール		フッ素ゴム	0.202 kg	表 4-10
	集電板		銅	2.18 kg	Copper {GLO}  market for Sheet rolling, copper {GLO}  market for
	端板		ステンレス	5.09 kg	Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO}  market for Sheet rolling, chromium steel {GLO}  market for
	その他周辺部品		鉄	3.31 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for Sheet rolling, steel {GLO}  market for
	生産物	燃料電池スタック		1 台分	—

#### 4.1.7 周辺機器

表 3-3 で示した素材構成を示した定置用燃料電池システムのうち、インバータ製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-12 に、ポンプ、ブロー製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-13 に、熱交換器製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-14 に、排熱回収装置製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-15 に、それぞれ示す。

表 4-12 インバータ製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	3.07 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
	アルミ	0.727 kg	Aluminium, wrought alloy {GLO}  market for
			Sheet rolling, aluminium {GLO}  market for
	その他非鉄	0.323 kg	Copper {GLO}  market for
			Sheet rolling, copper {GLO}  market for
	樹脂	0.969 kg	Epoxy resin {GLO}  market for epoxy resin
			Blow moulding {GLO}  market for
生産物	インバータ	1 台分	—

表 4-13 ポンプ、ブロー製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	7.67 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
生産物	ポンプ、ブロー	1 台分	—

表 4-14 熱交換器製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	6.46 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
生産物	熱交換器	1 台分	—

表 4-15 排熱回収装置製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	6.46 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
生産物	排熱回収装置製造	1 台分	—

表 3-3 で示した素材構成を示した定置用燃料電池システムのうち、配線・ケーブルの製造プロセスの入出力情報については、ecoinvent version 3.4 の“Cable, unspecified {GLO}| production”のプロセスデータを基に、導体と被覆の素材及び投入重量比を JEMA よりご提供いただいた情報に合わせてカスタマイズをすることで設定した。その内容を表 4-16 に示す。

表 4-16 配線・ケーブル製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	銅	0.57 kg	Copper {GLO}  market for Wire drawing, copper {GLO}  market for
	樹脂 (PVC)	0.43 kg	Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO}  market for
			Extrusion, plastic pipes {GLO}  market for
	水	1.45 kg	Tap water {GLO}  market group for
生産物	配線・ケーブル	1.00 kg	—
排出物	水 (大気圏排出物)	$8.86 \times 10^{-5}$ m <sup>3</sup>	Water/m <sup>3</sup>
	水 (水圏排出物)	0.00136 m <sup>3</sup>	Water, GLO
	外部委託処理廃棄物	$1.60 \times 10^{-6}$ kg	Hazardous waste, for incineration {CH}  market for hazardous waste, for incineration
		$6.14 \times 10^{-5}$ kg	Hazardous waste, for incineration {Europe without Switzerland}  market for hazardous waste, for incineration
		0.000128 kg	Hazardous waste, for incineration {RoW}  market for hazardous waste, for incineration
		$1.24 \times 10^{-5}$ kg	Waste plastic, mixture {CH}  market for waste plastic, mixture
		0.00019 kg	Waste plastic, mixture {Europe without Switzerland}  market for waste plastic, mixture
0.00211 kg		Waste plastic, mixture {RoW}  market for waste plastic, mixture	

表 3-3 で示した素材構成を示した定置用燃料電池システムのうち、ケース製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-17 に、水処理装置製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-18 に、貯湯槽製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-19 に、補助バーナー製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-20 に、それぞれ示す。

表 4-17 ケース製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	24.2 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
生産物	ケース	1 台分	—

表 4-18 水処理装置製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	2.91 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
生産物	水処理装置	1 台分	—

表 4-19 貯湯槽製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	47.4 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
	部品、その他	2.6 kg	Glass wool mat {GLO}  market for
生産物	貯湯槽	1 台分	—

表 4-20 補助バーナー製造プロセスの入出力情報

項目		数量・単位	出典、二次データの名称
投入物	鉄	23.2 kg	Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO}  market for
			Sheet rolling, steel {GLO}  market for
	アルミ	2.4 kg	Aluminium, wrought alloy {GLO}  market for
			Sheet rolling, aluminium {GLO}  market for
	その他非鉄	9.9 kg	Copper {GLO}  market for
			Sheet rolling, copper {GLO}  market for
樹脂	1.1 kg	Polystyrene, general purpose {GLO}  market for	
		Blow moulding {GLO}  market for	
部品、その他	1.4 kg	Electronics, for control units {GLO}  market for	
生産物	補助バーナー	1 台分	—

## 4.2 システム製造段階

表 3-3 で素材構成を示した定置用燃料電池システムについて、その製造プロセスの入出力情報及び適用した二次データを表 4-21 に示す。

表 4-21 定置用燃料電池システム製造プロセスの入出力情報

項目	数量・単位	出典、二次データの名称	
投入物	燃料電池スタック	1 台分	表 4-11
	インバータ	1 台分	表 4-12
	ポンプ、ブロー	1 台分	表 4-13
	熱交換器	1 台分	表 4-14
	排熱回収装置	1 台分	表 4-15
	配線・ケーブル	8.07 kg	表 4-16
	ケース	1 台分	表 4-17
	水処理装置	1 台分	表 4-18
	貯湯槽	1 台分	表 4-19
	補助バーナー	1 台分	表 4-20
	上水	251 kg	Water, decarbonised, at user {GLO}  market for
投入エネルギー	電力	45.5 kWh	Electricity, high voltage {GLO}  market group for
	化石燃料	233 MJ	Heat, district or industrial, natural gas {GLO}  market group for
輸送	陸上輸送 * 3,500km を想定	578 tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {GLO}  market for
生産物	定置用燃料電池システム	1 台	—

定置用燃料電池システムの組立に必要なエネルギーについては、JLCA [2018] の「ガス給湯器」(データ ID : 000078) のデータを基に、各機器の重量比によって調整した電力及び化石燃料の消費量を採用した。化石燃料の消費に対する二次データは、天然ガス由来の工業用熱供給を採用した。

表 4-21 には完成したシステムの輸送プロセスも含まれている。完成したシステムの輸送トンキロの設定にあたっては、P.E.P. Association [2015] に記載されている輸送シナリオに基づき、3,500km の陸上輸送を想定した。

### 4.3 システム使用段階

表 3-5 で示したシステムの使用段階における純水素及び系統電力の消費については、欧州における使用を想定し、いずれも ecoinvent version 3.4 より、表 4-22 で示した二次データを適用した。尚、純水素の供給にあたっては固体高分子膜（Polymer Electrolyte Membrane ; PEM）による大規模水電解を想定し、その効率は JEMA より提供を受けた情報を基に 5kWh/Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub> とした。

表 4-22 定置用燃料電池システムの使用段階のエネルギー消費に適用する二次データ

項目	出典、二次データの名称
純水素	Electricity, high voltage {ENTSO-E} production mix * PEM による大規模水電解を想定、効率：5kWh/Nm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub>
系統電力	Electricity, high voltage {ENTSO-E} production mix

### 4.4 システム廃棄処理段階

システムの使用後における廃棄処理段階の入出力情報については、みずほ情報総研 [2005] やみずほ情報総研 [2008] での考え方に基づき、一部を ecoinvent version 3.4 のデータに置き換え、表 4-23 の通りとした。また、GHG Protocol [2011] で示されている “Recycled content method” の考え方に従い、リサイクルを行いバージン材の供給を代替することによる間接的な負荷削減効果は本調査では考慮しないものとした。

表 4-23 定置用燃料電池システム廃棄処理プロセスの入出力情報

工程		活動量の対象	数量、単位	出典、二次データの名称
回収		システム全体の重量×40km×(1+1÷積載率(71%))	15.9 tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 {GLO}  market for
破碎・選別		システム全体の重量から燃料電池スタックの重量を減算	149 kg	Waste electric and electronic equipment {GLO}  market for
埋立	鉄	システム全体に用いられる鉄の重量×鉄の廃棄(埋立)率(9%)	11.7 kg	Scrap steel {RoW}  treatment of, inert material landfill
	アルミ	システム全体に用いられるアルミの重量×非鉄の廃棄(埋立)率(9%)	0.281 kg	Waste aluminium {RoW}  treatment of, sanitary landfill
	銅	システム全体に用いられる銅の重量×非鉄の廃棄(埋立)率(9%)	1.53 kg	Scrap copper {RoW}  treatment of, municipal incineration
	樹脂類	システム全体に用いられる樹脂の重量×樹脂の廃棄(埋立)率(34%)	2.31 kg	Waste plastic, mixture {RoW}  treatment of waste plastic, mixture, sanitary landfill
樹脂焼却		システム全体に用いられる樹脂の重量×樹脂の廃棄(焼却)率(2%)	0.14 kg	Waste plastic, consumer electronics {RoW}  treatment of, municipal incineration

## 5. ライフサイクル影響評価

本調査は、ホットスポット分析を通して重要度の高い環境影響領域やプロセスを特定することを目的としていることから、影響領域の取捨選択は行わず、個々の環境影響評価手法で対象としている影響領域全てを対象とするものとした。

本調査で適用した環境影響評価手法は表 5-1 の通りである。

表 5-1 本調査で対象とした環境影響評価手法

環境影響評価手法	対象地域	出典
CML-IA baseline, version 3.04	EU25 ヶ国	CML [2012]
ILCD 2011 Midpoint+, version 1.10	グローバル	JRC [2011]
ReCiPe 2016, version 1.00	グローバル	Huijbregts et al. [2016]

### 5.1 CML

ここでは、CML を用いた評価結果を示す。CML における影響領域の一覧及びその和訳を、表 5-2 に示す。

表 5-2 CML における影響領域の一覧とその和訳

影響領域（原文）	影響領域（和訳）
Abiotic depletion	非生物資源枯渇
Abiotic depletion (fossil fuels)	非生物資源枯渇（化石燃料）
Global warming (GWP100a)	地球温暖化（100年値）
Ozone layer depletion (ODP)	オゾン層破壊（ODP）
Human toxicity	ヒト毒性
Freshwater aquatic ecotoxicity.	淡水生態毒性
Marine aquatic ecotoxicity	海水生態毒性
Terrestrial ecotoxicity	陸域生態毒性
Photochemical oxidation	光化学オキシダント生成
Acidification	酸性化
Eutrophication	富栄養化

#### 5.1.1 中間期

CML を用いた評価のうち、表 3-5 で示した中間期・①の評価の結果を表 5-3 及び図 5-1 に示す。

表 5-3 CML による評価結果：中間期・①

Impact category	Unit	素材・部品製造	システム製造	流通	使用	廃棄	合計
Abiotic depletion	kg Sb eq	5.89E-02	8.16E-07	2.27E-07	3.25E-02	7.82E-05	9.15E-02
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	8.18E+03	5.15E+02	1.12E+03	2.77E+06	1.22E+02	2.78E+06
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	8.21E+02	4.48E+01	7.80E+01	2.60E+05	1.17E+01	2.61E+05
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1.02E-03	2.59E-06	1.44E-05	2.67E-02	8.39E-07	2.77E-02
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	4.49E+03	1.12E+01	2.06E+01	1.07E+05	1.70E+01	1.11E+05
Freshwater aquatic ecotoxicity.	kg 1,4-DB eq	2.23E+03	1.15E+01	1.38E+00	1.47E+05	1.24E+03	1.51E+05
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	6.18E+06	4.96E+04	5.96E+03	4.63E+08	2.72E+05	4.69E+08
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	8.92E+00	3.06E-02	5.93E-02	3.80E+02	2.80E-02	3.89E+02
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	8.69E-01	6.94E-03	8.95E-03	4.63E+01	2.04E-03	4.71E+01
Acidification	kg SO2 eq	1.93E+01	1.59E-01	1.33E-01	1.17E+03	4.73E-02	1.19E+03
Eutrophication	kg PO4--- eq	7.27E+00	6.39E-02	1.74E-02	9.06E+02	4.10E-02	9.14E+02

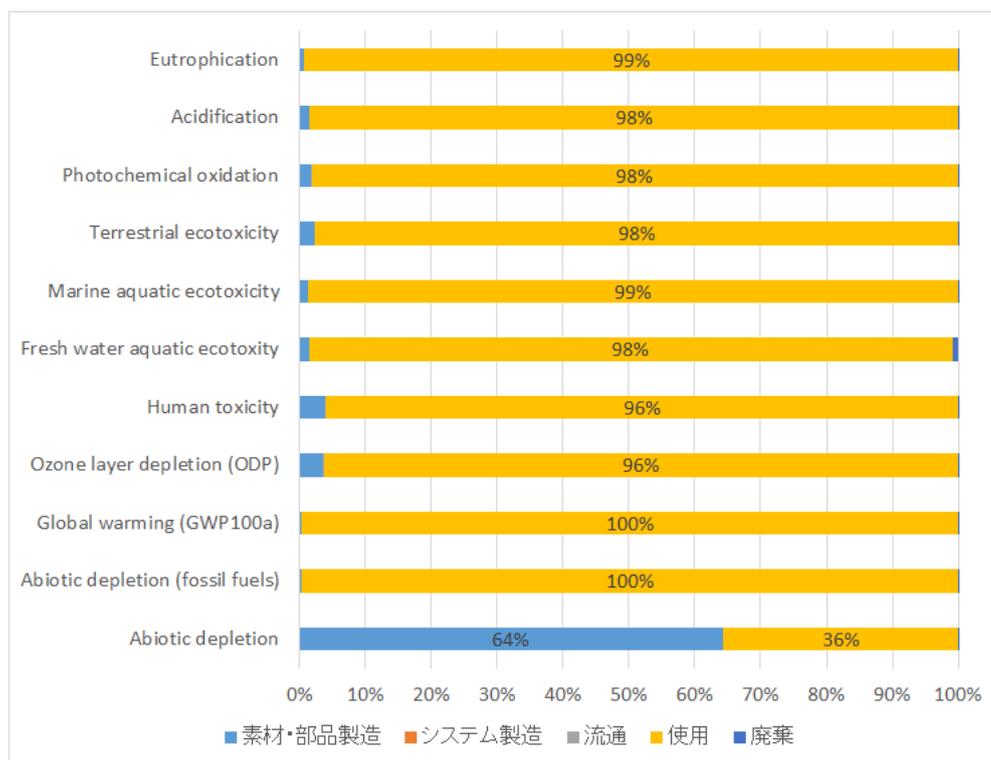


図 5-1 CML による評価結果：中間期・①

CML を用いた評価のうち、表 3-5 で示した中間期・②の評価の結果を表 5-4 及び図 5-2 に示す。

表 5-4 CML による評価結果：中間期・②

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Abiotic depletion	kg Sb eq	5.89E-02	8.16E-07	2.27E-07	3.25E-02	7.82E-05	9.15E-02
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	8.18E+03	5.15E+02	1.12E+03	2.77E+06	1.22E+02	2.78E+06
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	8.21E+02	4.48E+01	7.80E+01	2.60E+05	1.17E+01	2.61E+05
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1.02E-03	2.59E-06	1.44E-05	2.67E-02	8.39E-07	2.77E-02
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	4.49E+03	1.12E+01	2.06E+01	1.07E+05	1.70E+01	1.11E+05
Freshwater aquatic ecotoxity.	kg 1,4-DB eq	2.23E+03	1.15E+01	1.38E+00	1.47E+05	1.24E+03	1.51E+05
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	6.18E+06	4.96E+04	5.96E+03	4.63E+08	2.72E+05	4.69E+08
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	8.92E+00	3.06E-02	5.93E-02	3.80E+02	2.80E-02	3.89E+02
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	8.69E-01	6.94E-03	8.95E-03	4.63E+01	2.04E-03	4.71E+01
Acidification	kg SO2 eq	1.93E+01	1.59E-01	1.33E-01	1.17E+03	4.73E-02	1.19E+03
Eutrophication	kg PO4--- eq	7.27E+00	6.39E-02	1.74E-02	9.06E+02	4.10E-02	9.14E+02

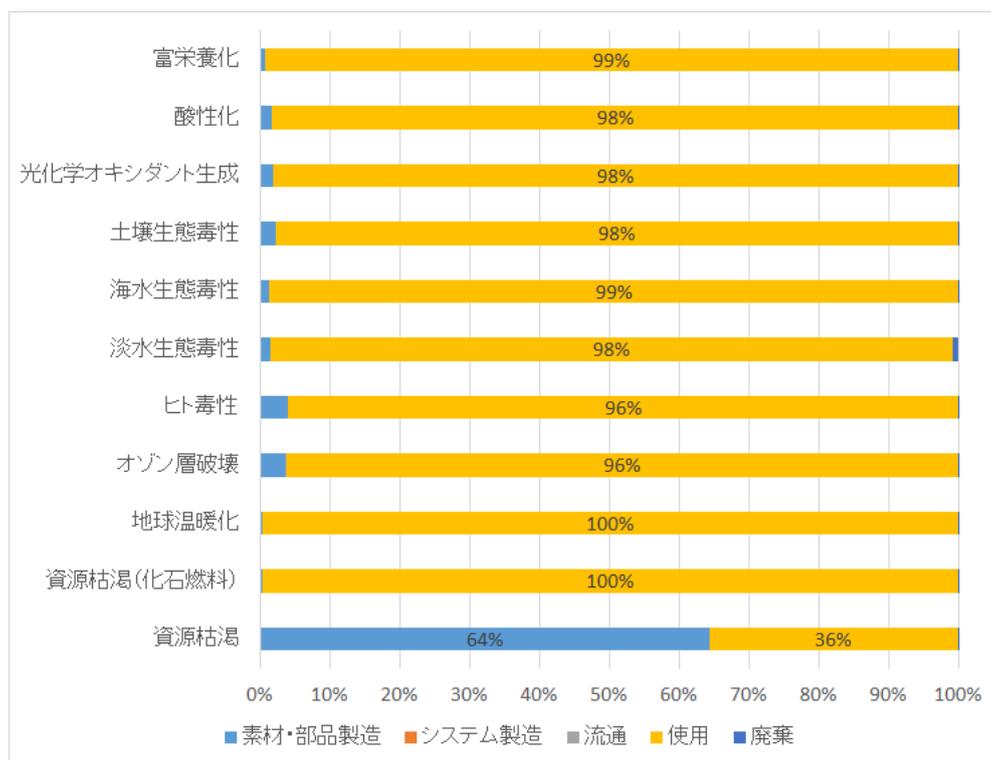


図 5-2 CML による評価結果：中間期・②

### 5.1.2 夏期

CML を用いた評価のうち、表 3-5 で示した夏期・①の評価の結果を表 5-5 及び図 5-3 に示

す。

表 5-5 CML による評価結果：夏期・①

Impact category	Unit	素材・部品製造	システム製造	流通	使用	廃棄	合計
Abiotic depletion	kg Sb eq	5.89E-02	8.16E-07	2.27E-07	8.56E-03	7.82E-05	6.75E-02
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	8.18E+03	5.15E+02	1.12E+03	7.47E+05	1.22E+02	7.57E+05
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	8.21E+02	4.48E+01	7.80E+01	6.95E+04	1.17E+01	7.05E+04
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1.02E-03	2.59E-06	1.44E-05	7.13E-03	8.39E-07	8.16E-03
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	4.49E+03	1.12E+01	2.06E+01	2.84E+04	1.70E+01	3.29E+04
Freshwater aquatic ecotoxicity.	kg 1,4-DB eq	2.23E+03	1.15E+01	1.38E+00	3.90E+04	1.24E+03	4.25E+04
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	6.18E+06	4.96E+04	5.96E+03	1.23E+08	2.72E+05	1.29E+08
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	8.92E+00	3.06E-02	5.93E-02	1.01E+02	2.80E-02	1.10E+02
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	8.69E-01	6.94E-03	8.95E-03	1.25E+01	2.04E-03	1.33E+01
Acidification	kg SO2 eq	1.93E+01	1.59E-01	1.33E-01	3.11E+02	4.73E-02	3.31E+02
Eutrophication	kg PO4--- eq	7.27E+00	6.39E-02	1.74E-02	2.40E+02	4.10E-02	2.47E+02

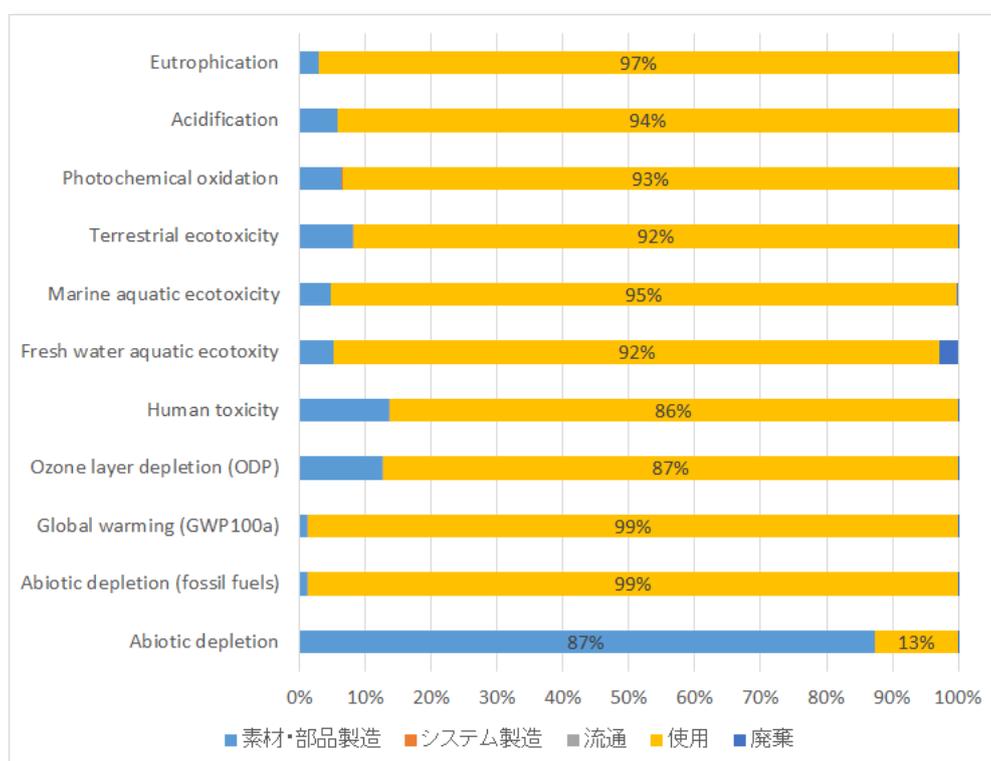


図 5-3 CML による評価結果：夏期・①

CML を用いた評価のうち、表 3-5 で示した夏期・②の評価の結果を表 5-6 及び図 5-4 に示

す。

表 5-6 CML による評価結果：夏期・②

Impact category	Unit	素材・部品製造	システム製造	流通	使用	廃棄	合計
Abiotic depletion	kg Sb eq	5.89E-02	8.16E-07	2.27E-07	8.56E-03	7.82E-05	6.75E-02
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	8.18E+03	5.15E+02	1.12E+03	7.47E+05	1.22E+02	7.57E+05
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	8.21E+02	4.48E+01	7.80E+01	6.95E+04	1.17E+01	7.05E+04
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	1.02E-03	2.59E-06	1.44E-05	7.13E-03	8.39E-07	8.16E-03
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	4.49E+03	1.12E+01	2.06E+01	2.84E+04	1.70E+01	3.29E+04
Freshwater aquatic ecotoxicity.	kg 1,4-DB eq	2.23E+03	1.15E+01	1.38E+00	3.90E+04	1.24E+03	4.25E+04
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	6.18E+06	4.96E+04	5.96E+03	1.23E+08	2.72E+05	1.29E+08
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	8.92E+00	3.06E-02	5.93E-02	1.01E+02	2.80E-02	1.10E+02
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	8.69E-01	6.94E-03	8.95E-03	1.25E+01	2.04E-03	1.33E+01
Acidification	kg SO2 eq	1.93E+01	1.59E-01	1.33E-01	3.11E+02	4.73E-02	3.31E+02
Eutrophication	kg PO4--- eq	7.27E+00	6.39E-02	1.74E-02	2.40E+02	4.10E-02	2.47E+02

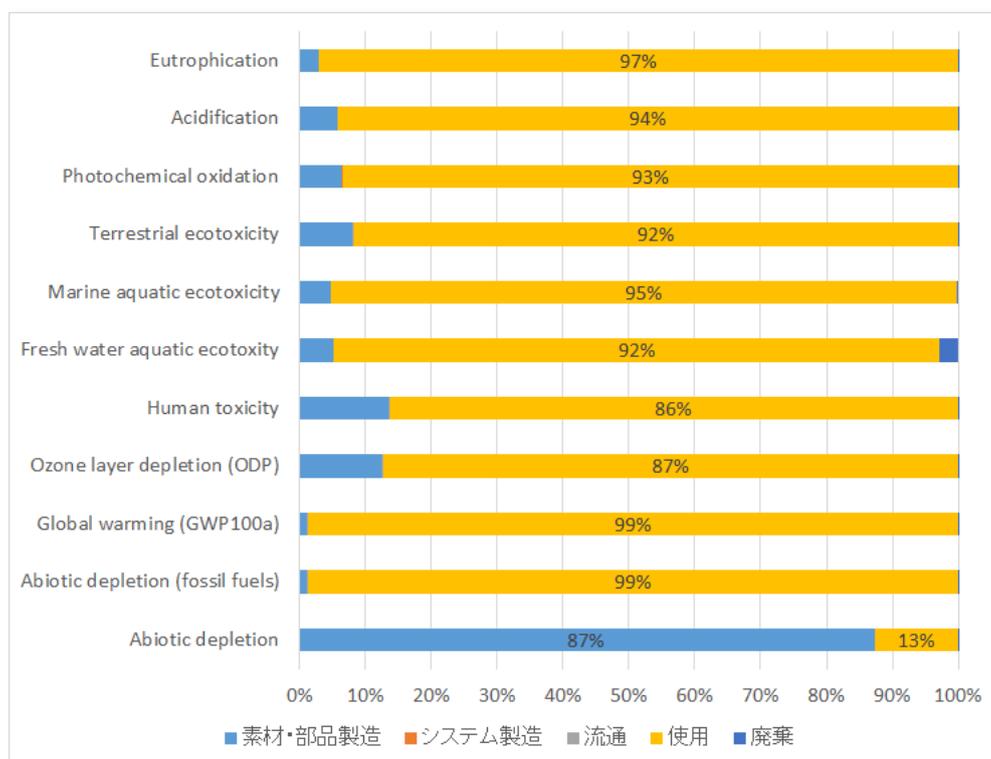


図 5-4 CML による評価結果：夏期・②

## 5.2 環境フットプリント

ここでは、環境フットプリントにおける影響評価手法を用いた評価結果を示す。環境フットプリントにおける影響領域の一覧及びその和訳を、表 5-7 に示す。

表 5-7 環境フットプリントにおける影響領域の一覧とその和訳

影響領域（原文）	影響領域（和訳）
Climate change	気候変動
Ozone depletion	オゾン層破壊
Human toxicity, non-cancer effects	ヒト毒性－発がん影響
Human toxicity, cancer effects	ヒト毒性－発がん以外の影響
Particulate matter	微粒子物質
Ionizing radiation	電離放射線
Photochemical ozone formation	光化学オゾン生成
Acidification	酸性化
Terrestrial eutrophication	富栄養化 - 陸域
Freshwater eutrophication	富栄養化 - 淡水域
Marine eutrophication	富栄養化 - 海水域
Freshwater ecotoxicity	生態毒性 - 淡水域
Land use	土地利用
Water resource depletion	水資源枯渇
Abiotic resource depletion	非生物資源枯渇

### 5.2.1 中間期

ILCD 2011 Midpoint+（環境フットプリント、出典：JRC [2011]）を用いた評価のうち、表 3-5 で示した中間期・①の評価の結果を表 5-8 及び図 5-5 に示す。尚、環境フットプリントによる評価では水資源枯渇は一部のライフサイクル段階でマイナス値を取ることから、図 5-5 を含め評価結果のグラフにおける表示の対象から除外した。

表 5-8 環境フットプリントによる評価結果：中間期・①

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Climate change	kg CO2 eq	8.12E+02	4.42E+01	7.80E+01	2.64E+05	1.15E+01	2.65E+05
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1.02E-03	2.58E-06	1.44E-05	2.67E-02	8.38E-07	2.77E-02
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	3.91E-03	6.05E-06	1.12E-05	7.65E-02	1.84E-05	8.05E-02
Human toxicity, cancer effects	CTUh	4.78E-04	1.70E-06	1.28E-07	2.02E-02	7.22E-07	2.07E-02
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1.55E+00	3.16E-02	2.68E-02	1.01E+02	9.22E-03	1.02E+02
Ionizing radiation	kBq U235 eq	7.76E+01	4.80E+00	5.12E+00	1.40E+05	1.33E+00	1.40E+05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	4.28E+00	8.87E-02	9.32E-02	4.58E+02	2.68E-02	4.63E+02
Acidification	molc H+ eq	2.17E+01	1.89E-01	1.58E-01	1.39E+03	5.65E-02	1.41E+03
Terrestrial eutrophication	molc N eq	1.26E+01	3.19E-01	2.72E-01	2.01E+03	9.99E-02	2.02E+03
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.20E+00	1.72E-02	8.37E-04	2.68E+02	8.61E-03	2.71E+02
Marine eutrophication	kg N eq	1.35E+00	3.21E-02	2.46E-02	2.12E+02	1.47E-02	2.14E+02
Freshwater ecotoxicity	CTUe	9.03E+04	1.53E+02	2.29E+02	1.96E+06	5.88E+04	2.10E+06
Land use	kg C deficit	4.68E+02	5.87E+00	5.38E-01	8.65E+04	2.26E+00	8.70E+04
Water resource depletion	m3 water eq	-4.18E-01	-1.83E-01	1.56E-02	2.16E+03	-1.06E-02	2.16E+03
Abiotic resource depletion	kg Sb eq	2.80E-01	5.14E-05	1.53E-05	1.82E+00	2.11E-04	2.10E+00

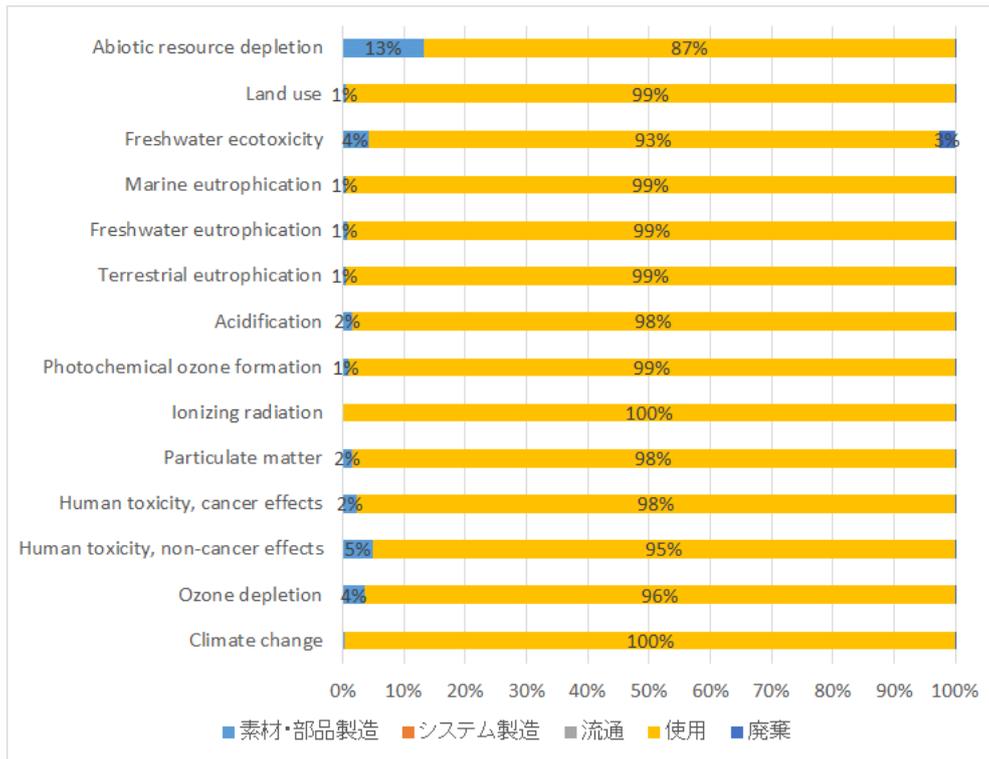


図 5-5 環境フットプリントによる評価結果：中間期・①

環境フットプリントを用いた評価のうち、表 3-5 で示した中間期・②の評価の結果を表 5-9 及び図 5-6 に示す。

表 5-9 環境フットプリントによる評価結果：中間期・②

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Climate change	kg CO2 eq	8.12E+02	4.42E+01	7.80E+01	2.64E+05	1.15E+01	2.65E+05
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1.02E-03	2.58E-06	1.44E-05	2.67E-02	8.38E-07	2.77E-02
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	3.91E-03	6.05E-06	1.12E-05	7.65E-02	1.84E-05	8.05E-02
Human toxicity, cancer effects	CTUh	4.78E-04	1.70E-06	1.28E-07	2.02E-02	7.22E-07	2.07E-02
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1.55E+00	3.16E-02	2.68E-02	1.01E+02	9.22E-03	1.02E+02
Ionizing radiation	kBq U235 eq	7.76E+01	4.80E+00	5.12E+00	1.40E+05	1.33E+00	1.40E+05
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	4.28E+00	8.87E-02	9.32E-02	4.58E+02	2.68E-02	4.63E+02
Acidification	molc H+ eq	2.17E+01	1.89E-01	1.58E-01	1.39E+03	5.65E-02	1.41E+03
Terrestrial eutrophication	molc N eq	1.26E+01	3.19E-01	2.72E-01	2.01E+03	9.99E-02	2.02E+03
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.20E+00	1.72E-02	8.37E-04	2.68E+02	8.61E-03	2.71E+02
Marine eutrophication	kg N eq	1.35E+00	3.21E-02	2.46E-02	2.12E+02	1.47E-02	2.14E+02
Freshwater ecotoxicity	CTUe	9.03E+04	1.53E+02	2.29E+02	1.96E+06	5.88E+04	2.10E+06
Land use	kg C deficit	4.68E+02	5.87E+00	5.38E-01	8.65E+04	2.26E+00	8.70E+04
Water resource depletion	m3 water eq	-4.18E-01	-1.83E-01	1.56E-02	2.16E+03	-1.06E-02	2.16E+03
Abiotic resource depletion	kg Sb eq	2.80E-01	5.14E-05	1.53E-05	1.82E+00	2.11E-04	2.10E+00

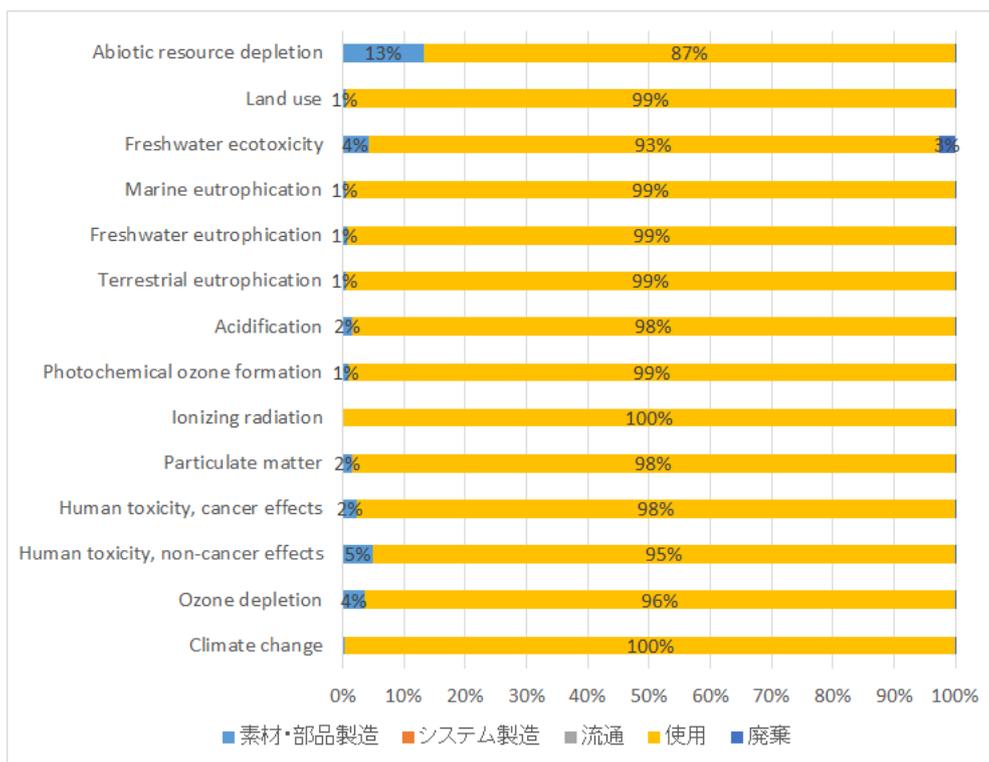


図 5-6 環境フットプリントによる評価結果：中間期・②

## 5.2.2 夏期

環境フットプリントを用いた評価のうち、表 3-5 で示した夏期・①の評価の結果を表 5-10 及び図 5-7 に示す。尚、中間期と同様、環境フットプリントによる評価では水資源枯渇は一部のライフサイクル段階でマイナス値を取ることから、図 5-7 を含め評価結果のグラフにおける表示の対象から除外した。

表 5-10 環境フットプリントによる評価結果：夏期・①

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Climate change	kg CO2 eq	8.12E+02	4.42E+01	7.80E+01	7.05E+04	1.15E+01	7.15E+04
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1.02E-03	2.58E-06	1.44E-05	7.13E-03	8.38E-07	8.16E-03
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	3.91E-03	6.05E-06	1.12E-05	2.03E-02	1.84E-05	2.43E-02
Human toxicity, cancer effects	CTUh	4.78E-04	1.70E-06	1.28E-07	5.35E-03	7.22E-07	5.83E-03
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1.55E+00	3.16E-02	2.68E-02	2.61E+01	9.22E-03	2.78E+01
Ionizing radiation	kBq U235 eq	7.76E+01	4.80E+00	5.12E+00	3.68E+04	1.33E+00	3.69E+04
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	4.28E+00	8.87E-02	9.32E-02	1.22E+02	2.68E-02	1.26E+02
Acidification	molc H+ eq	2.17E+01	1.89E-01	1.58E-01	3.69E+02	5.65E-02	3.91E+02
Terrestrial eutrophication	molc N eq	1.26E+01	3.19E-01	2.72E-01	5.30E+02	9.99E-02	5.43E+02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.20E+00	1.72E-02	8.37E-04	7.10E+01	8.61E-03	7.33E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.35E+00	3.21E-02	2.46E-02	5.60E+01	1.47E-02	5.74E+01
Freshwater ecotoxicity	CTUe	9.03E+04	1.53E+02	2.29E+02	5.18E+05	5.88E+04	6.68E+05
Land use	kg C deficit	4.68E+02	5.87E+00	5.38E-01	2.37E+04	2.26E+00	2.41E+04
Water resource depletion	m3 water eq	-4.18E-01	-1.83E-01	1.56E-02	5.65E+02	-1.06E-02	5.65E+02
Abiotic resource depletion	kg Sb eq	2.80E-01	5.14E-05	1.53E-05	4.78E-01	2.11E-04	7.59E-01

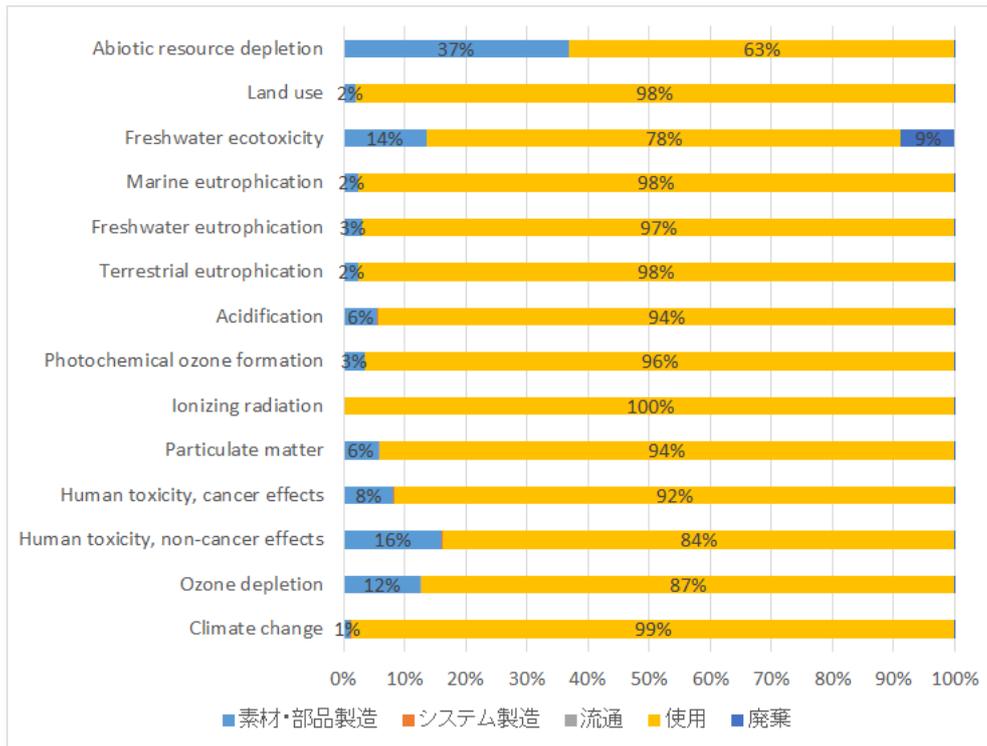


図 5-7 環境フットプリントによる評価結果：夏期・①

環境フットプリントを用いた評価のうち、表 3-5 で示した夏期・②の評価の結果を表 5-11 及び図 5-8 に示す。

表 5-11 環境フットプリントによる評価結果：夏期・②

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Climate change	kg CO2 eq	8.12E+02	4.42E+01	7.80E+01	7.05E+04	1.15E+01	7.15E+04
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1.02E-03	2.58E-06	1.44E-05	7.13E-03	8.38E-07	8.16E-03
Human toxicity, non-cancer effects	CTUh	3.91E-03	6.05E-06	1.12E-05	2.03E-02	1.84E-05	2.43E-02
Human toxicity, cancer effects	CTUh	4.78E-04	1.70E-06	1.28E-07	5.35E-03	7.22E-07	5.83E-03
Particulate matter	kg PM2.5 eq	1.55E+00	3.16E-02	2.68E-02	2.61E+01	9.22E-03	2.78E+01
Ionizing radiation	kBq U235 eq	7.76E+01	4.80E+00	5.12E+00	3.68E+04	1.33E+00	3.69E+04
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq	4.28E+00	8.87E-02	9.32E-02	1.22E+02	2.68E-02	1.26E+02
Acidification	molc H+ eq	2.17E+01	1.89E-01	1.58E-01	3.69E+02	5.65E-02	3.91E+02
Terrestrial eutrophication	molc N eq	1.26E+01	3.19E-01	2.72E-01	5.30E+02	9.99E-02	5.43E+02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.20E+00	1.72E-02	8.37E-04	7.10E+01	8.61E-03	7.33E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.35E+00	3.21E-02	2.46E-02	5.60E+01	1.47E-02	5.74E+01
Freshwater ecotoxicity	CTUe	9.03E+04	1.53E+02	2.29E+02	5.18E+05	5.88E+04	6.68E+05
Land use	kg C deficit	4.68E+02	5.87E+00	5.38E-01	2.37E+04	2.26E+00	2.41E+04
Water resource depletion	m3 water eq	-4.18E-01	-1.83E-01	1.56E-02	5.65E+02	-1.06E-02	5.65E+02
Abiotic resource depletion	kg Sb eq	2.80E-01	5.14E-05	1.53E-05	4.78E-01	2.11E-04	7.59E-01

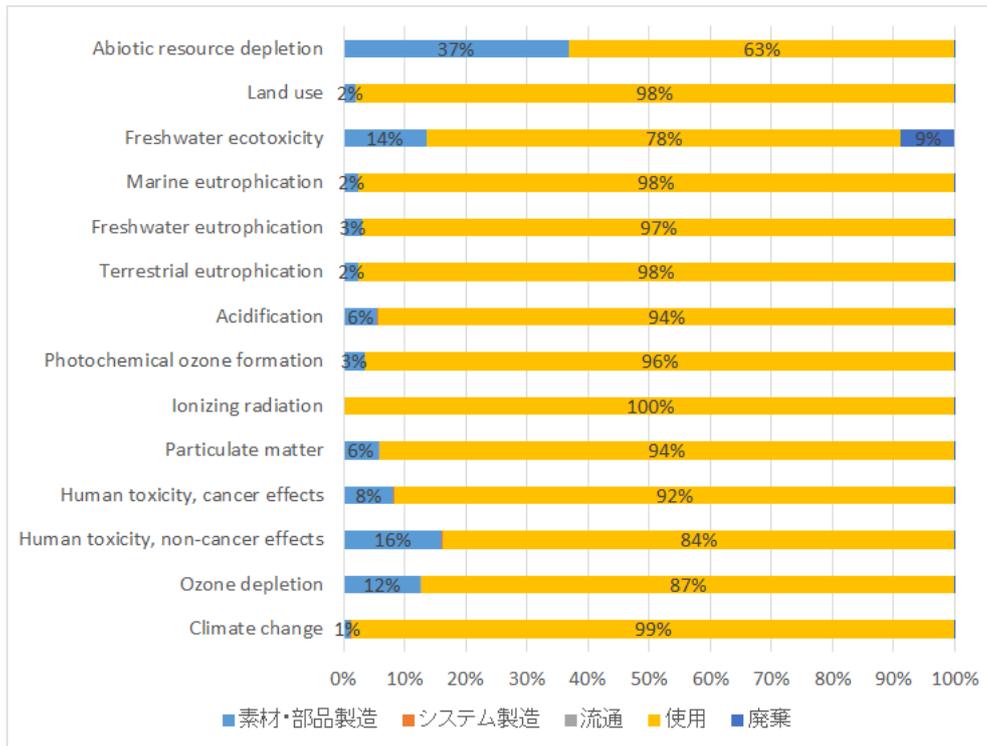


図 5-8 環境フットプリントによる評価結果：夏期・②

### 5.3 ReCiPe

ここでは、ReCiPe を用いた評価結果を示す。ReCiPe における影響領域の一覧及びその和訳を、表 5-12 に示す。

表 5-12 ReCiPe における影響領域の一覧とその和訳

影響領域（原文）	影響領域（和訳）
Global warming	地球温暖化
Stratospheric ozone depletion	成層圏オゾン層破壊
Ionizing radiation	電離放射線
Ozone formation, Human health	オゾン生成、人間健康
Fine particulate matter formation	微粒子物質生成
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	オゾン生成、陸域生態系
Terrestrial acidification	陸域の酸性化
Freshwater eutrophication	淡水の富栄養化
Marine eutrophication	海水の富栄養化
Terrestrial ecotoxicity	陸域の生態毒性
Freshwater ecotoxicity	淡水の生態毒性
Marine ecotoxicity	海水の生態毒性
Human carcinogenic toxicity	発がん性のヒト毒性
Human non-carcinogenic toxicity	非発がん性のヒト毒性
Land use	土地利用
Mineral resource scarcity	鉱物資源の希少性
Fossil resource scarcity	化石系資源の希少性
Water consumption	水消費

#### 5.3.1 中間期

ReCiPe を用いた評価のうち、表 3-5 で示した中間期・①の評価の結果を表 5-13 及び図 5-9 に示す。

表 5-13 ReCiPe による評価結果：中間期・①

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Global warming	kg CO2 eq	8.41E+02	4.58E+01	7.83E+01	2.64E+05	1.19E+01	2.65E+05
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1.44E-03	1.61E-05	5.76E-05	1.28E-01	5.53E-06	1.30E-01
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	7.03E+01	4.10E+00	7.92E-01	1.35E+05	1.03E+00	1.35E+05
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	2.55E+00	7.36E-02	6.67E-02	3.73E+02	2.24E-02	3.76E+02
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	5.60E+00	7.95E-02	5.10E-02	3.83E+02	2.26E-02	3.89E+02
Ozone formation, Terrestrial	kg NOx eq	2.61E+00	7.43E-02	6.93E-02	3.75E+02	2.26E-02	3.78E+02
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1.60E+01	1.29E-01	1.08E-01	9.76E+02	3.85E-02	9.92E+02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.20E+00	1.72E-02	8.31E-04	2.68E+02	8.61E-03	2.70E+02
Marine eutrophication	kg N eq	1.15E-01	1.14E-03	1.60E-04	1.95E+01	1.77E-03	1.96E+01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3.93E+04	1.69E+01	1.20E+03	1.51E+05	2.59E+02	1.91E+05
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3.82E+02	5.01E-01	2.27E-01	7.02E+03	1.72E+02	7.58E+03
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	5.47E+02	7.00E-01	8.39E-01	9.72E+03	2.06E+02	1.05E+04
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3.12E+02	1.16E+00	7.86E-02	1.38E+04	4.65E-01	1.41E+04
Human non-carcinogenic	kg 1,4-DCB	1.35E+04	1.40E+01	1.59E+01	2.03E+05	5.08E+01	2.16E+05
Land use	m2a crop eq	1.92E+01	2.89E-01	4.01E-02	9.98E+03	1.19E-01	1.00E+04
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	7.37E+01	4.25E-03	5.44E-04	1.27E+02	7.53E-02	2.01E+02
Fossil resource scarcity	kg oil eq	1.91E+02	1.22E+01	2.60E+01	6.65E+04	2.85E+00	6.67E+04
Water consumption	m3	9.20E+00	4.67E-01	1.34E-01	4.63E+03	5.98E-02	4.64E+03

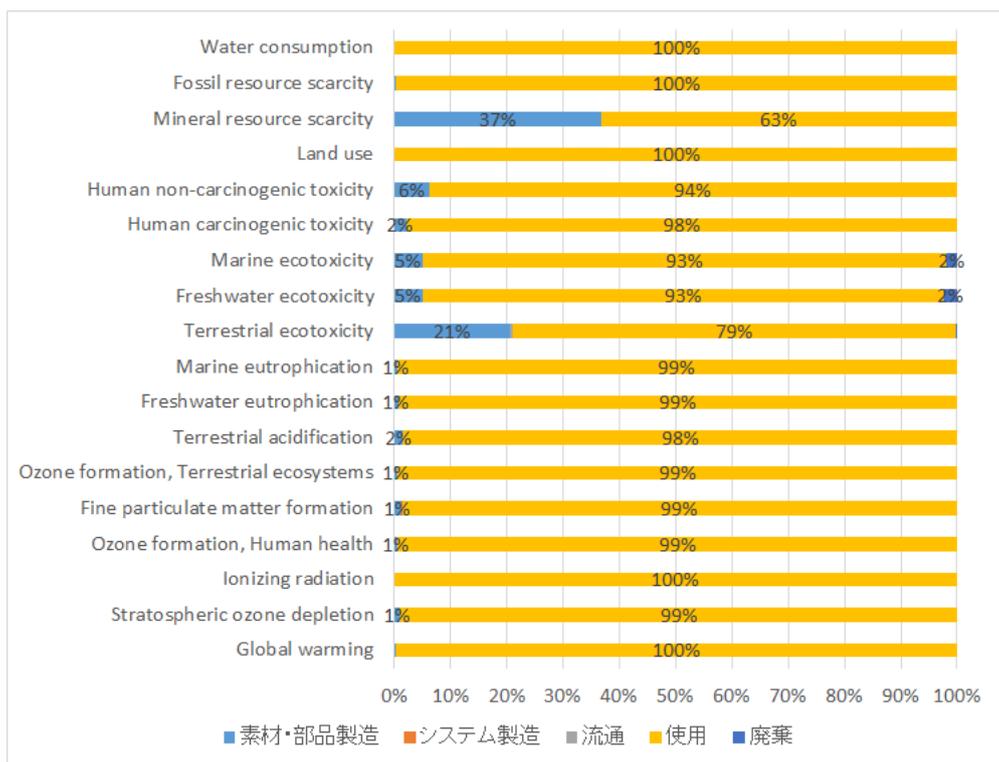


図 5-9 ReCiPe による評価結果：中間期・①

ReCiPe を用いた評価のうち、表 3-5 で示した中間期・②の評価の結果を表 5-14 及び図 5-10 に示す。

表 5-14 ReCiPe による評価結果：中間期・②

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Global warming	kg CO2 eq	8.41E+02	4.58E+01	7.83E+01	2.64E+05	1.19E+01	2.65E+05
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1.44E-03	1.61E-05	5.76E-05	1.28E-01	5.53E-06	1.30E-01
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	7.03E+01	4.10E+00	7.92E-01	1.35E+05	1.03E+00	1.35E+05
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	2.55E+00	7.36E-02	6.67E-02	3.73E+02	2.24E-02	3.76E+02
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	5.60E+00	7.95E-02	5.10E-02	3.83E+02	2.26E-02	3.89E+02
Ozone formation, Terrestrial	kg NOx eq	2.61E+00	7.43E-02	6.93E-02	3.75E+02	2.26E-02	3.78E+02
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1.60E+01	1.29E-01	1.08E-01	9.76E+02	3.85E-02	9.92E+02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.20E+00	1.72E-02	8.31E-04	2.68E+02	8.61E-03	2.70E+02
Marine eutrophication	kg N eq	1.15E-01	1.14E-03	1.60E-04	1.95E+01	1.77E-03	1.96E+01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3.93E+04	1.69E+01	1.20E+03	1.51E+05	2.59E+02	1.91E+05
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3.82E+02	5.01E-01	2.27E-01	7.02E+03	1.72E+02	7.58E+03
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	5.47E+02	7.00E-01	8.39E-01	9.72E+03	2.06E+02	1.05E+04
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3.12E+02	1.16E+00	7.86E-02	1.38E+04	4.65E-01	1.41E+04
Human non-carcinogenic	kg 1,4-DCB	1.35E+04	1.40E+01	1.59E+01	2.03E+05	5.08E+01	2.16E+05
Land use	m2a crop eq	1.92E+01	2.89E-01	4.01E-02	9.98E+03	1.19E-01	1.00E+04
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	7.37E+01	4.25E-03	5.44E-04	1.27E+02	7.53E-02	2.01E+02
Fossil resource scarcity	kg oil eq	1.91E+02	1.22E+01	2.60E+01	6.65E+04	2.85E+00	6.67E+04
Water consumption	m3	9.20E+00	4.67E-01	1.34E-01	4.63E+03	5.98E-02	4.64E+03

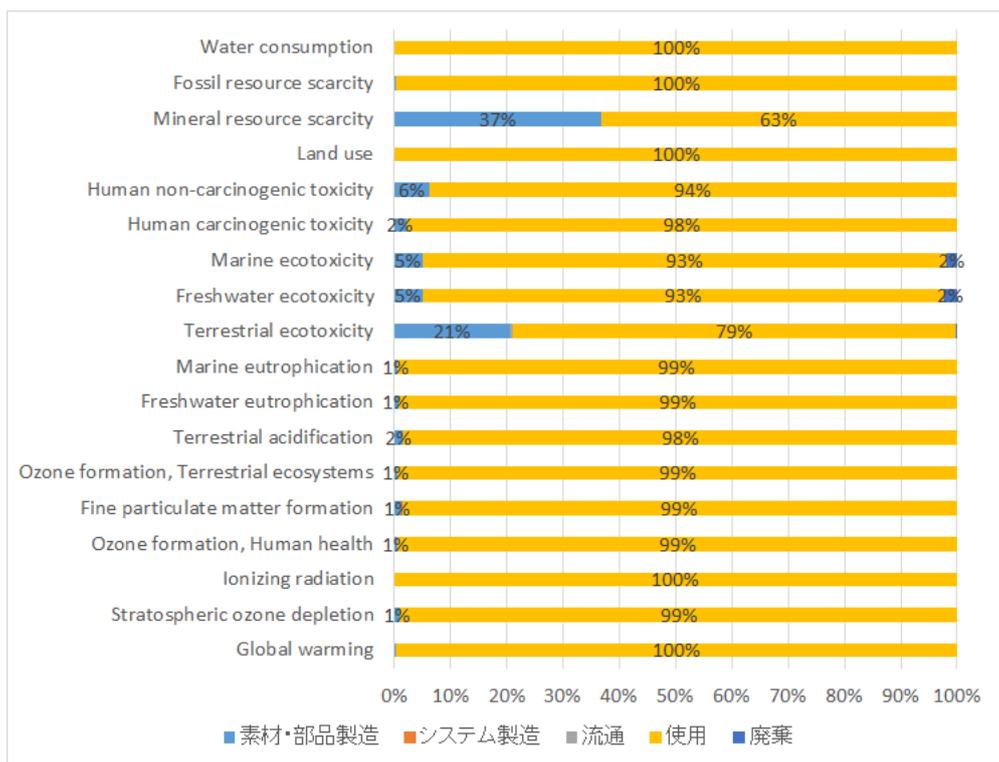


図 5-10 ReCiPe による評価結果：中間期・②

### 5.3.2 夏期

ReCiPe を用いた評価のうち、表 3-5 で示した夏期・①の評価の結果を表 5-15 及び図 5-11 に示す。

表 5-15 ReCiPe による評価結果：夏期・①

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Global warming	kg CO2 eq	8.41E+02	4.58E+01	7.83E+01	7.06E+04	1.19E+01	7.16E+04
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1.44E-03	1.61E-05	5.76E-05	3.20E-02	5.53E-06	3.36E-02
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	7.03E+01	4.10E+00	7.92E-01	3.52E+04	1.03E+00	3.52E+04
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	2.55E+00	7.36E-02	6.67E-02	9.85E+01	2.24E-02	1.01E+02
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	5.60E+00	7.95E-02	5.10E-02	9.97E+01	2.26E-02	1.05E+02
Ozone formation, Terrestrial	kg NOx eq	2.61E+00	7.43E-02	6.93E-02	9.92E+01	2.26E-02	1.02E+02
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1.60E+01	1.29E-01	1.08E-01	2.59E+02	3.85E-02	2.75E+02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.20E+00	1.72E-02	8.31E-04	7.09E+01	8.61E-03	7.32E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.15E-01	1.14E-03	1.60E-04	5.15E+00	1.77E-03	5.27E+00
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3.93E+04	1.69E+01	1.20E+03	4.02E+04	2.59E+02	8.10E+04
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3.82E+02	5.01E-01	2.27E-01	1.86E+03	1.72E+02	2.42E+03
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	5.47E+02	7.00E-01	8.39E-01	2.57E+03	2.06E+02	3.33E+03
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3.12E+02	1.16E+00	7.86E-02	3.64E+03	4.65E-01	3.96E+03
Human non-carcinogenic	kg 1,4-DCB	1.35E+04	1.40E+01	1.59E+01	5.38E+04	5.08E+01	6.73E+04
Land use	m2a crop eq	1.92E+01	2.89E-01	4.01E-02	2.74E+03	1.19E-01	2.76E+03
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	7.37E+01	4.25E-03	5.44E-04	4.12E+01	7.53E-02	1.15E+02
Fossil resource scarcity	kg oil eq	1.91E+02	1.22E+01	2.60E+01	1.79E+04	2.85E+00	1.82E+04
Water consumption	m3	9.20E+00	4.67E-01	1.34E-01	1.22E+03	5.98E-02	1.23E+03

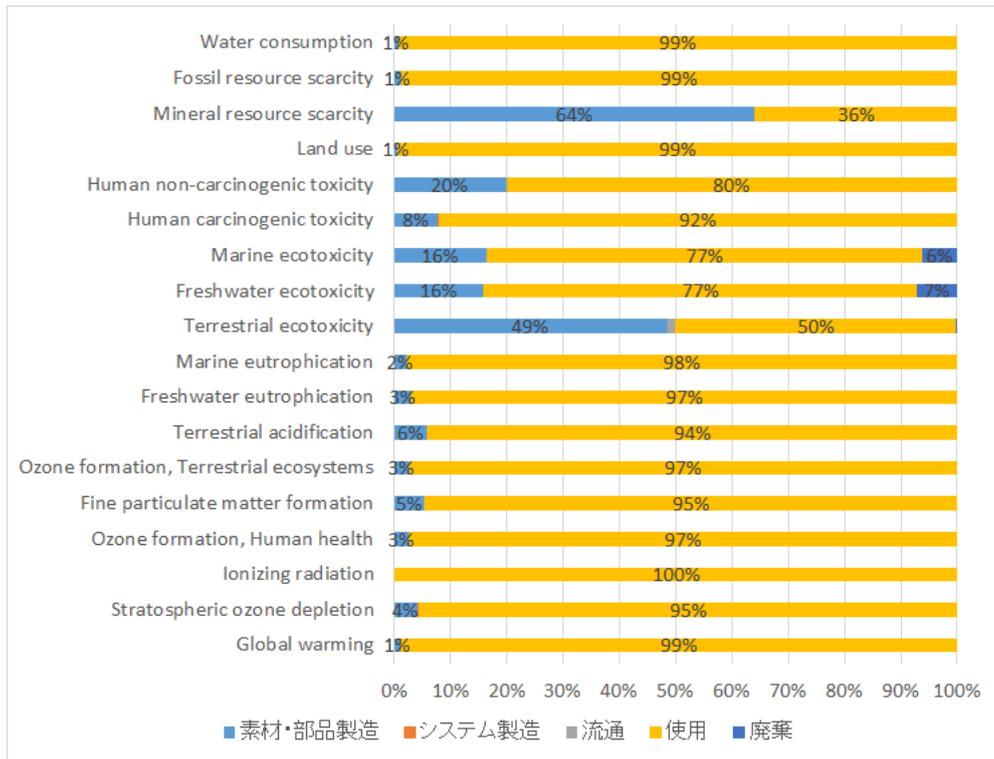


図 5-11 ReCiPe による評価結果：夏期・①

ReCiPe を用いた評価のうち、表 3-5 で示した夏期・②の評価の結果を表 5-16 及び図 5-12 に示す。

表 5-16 ReCiPe による評価結果：夏期・②

Impact category	Unit	素材・部品 製造	システム 製造	流通	使用	廃棄	合計
Global warming	kg CO2 eq	8.41E+02	4.58E+01	7.83E+01	7.06E+04	1.19E+01	7.16E+04
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	1.44E-03	1.61E-05	5.76E-05	3.20E-02	5.53E-06	3.36E-02
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	7.03E+01	4.10E+00	7.92E-01	3.52E+04	1.03E+00	3.52E+04
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	2.55E+00	7.36E-02	6.67E-02	9.85E+01	2.24E-02	1.01E+02
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	5.60E+00	7.95E-02	5.10E-02	9.97E+01	2.26E-02	1.05E+02
Ozone formation, Terrestrial	kg NOx eq	2.61E+00	7.43E-02	6.93E-02	9.92E+01	2.26E-02	1.02E+02
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	1.60E+01	1.29E-01	1.08E-01	2.59E+02	3.85E-02	2.75E+02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.20E+00	1.72E-02	8.31E-04	7.09E+01	8.61E-03	7.32E+01
Marine eutrophication	kg N eq	1.15E-01	1.14E-03	1.60E-04	5.15E+00	1.77E-03	5.27E+00
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3.93E+04	1.69E+01	1.20E+03	4.02E+04	2.59E+02	8.10E+04
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	3.82E+02	5.01E-01	2.27E-01	1.86E+03	1.72E+02	2.42E+03
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	5.47E+02	7.00E-01	8.39E-01	2.57E+03	2.06E+02	3.33E+03
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3.12E+02	1.16E+00	7.86E-02	3.64E+03	4.65E-01	3.96E+03
Human non-carcinogenic	kg 1,4-DCB	1.35E+04	1.40E+01	1.59E+01	5.38E+04	5.08E+01	6.73E+04
Land use	m2a crop eq	1.92E+01	2.89E-01	4.01E-02	2.74E+03	1.19E-01	2.76E+03
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	7.37E+01	4.25E-03	5.44E-04	4.12E+01	7.53E-02	1.15E+02
Fossil resource scarcity	kg oil eq	1.91E+02	1.22E+01	2.60E+01	1.79E+04	2.85E+00	1.82E+04
Water consumption	m3	9.20E+00	4.67E-01	1.34E-01	1.22E+03	5.98E-02	1.23E+03

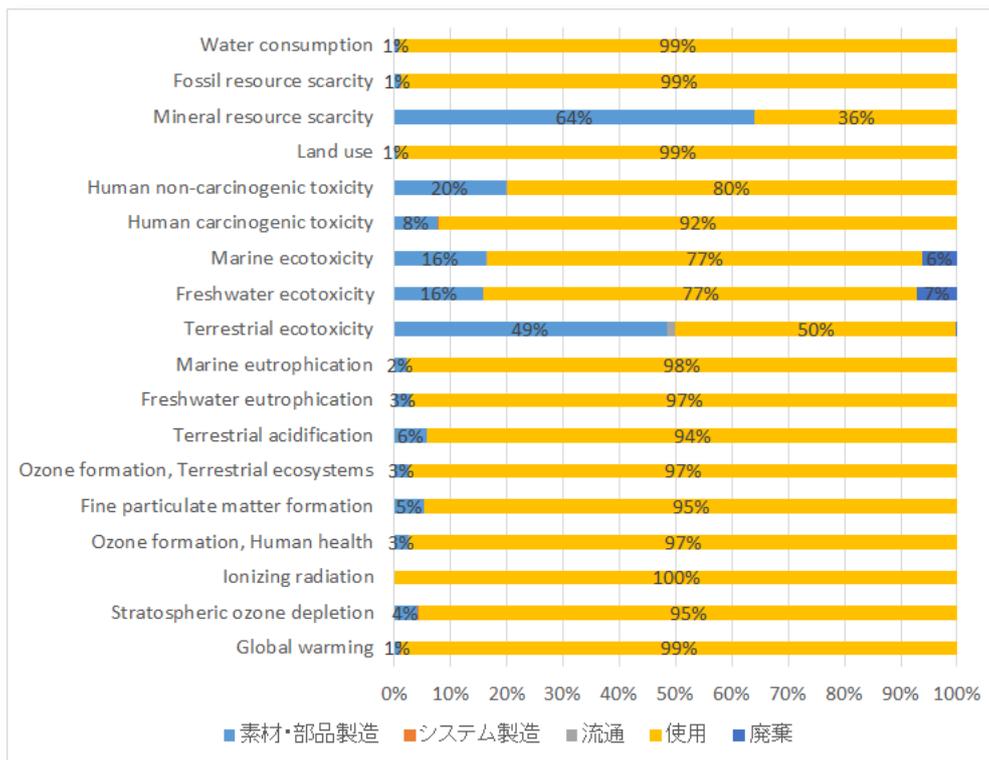


図 5-12 ReCiPe による評価結果：夏期・②

## 6. 結果の解釈

### 6.1 都市ガス改質形エネファームとの比較

ここでは、本調査の評価対象である純水素形燃料電池と 2018 年度調査で評価対象とした都市ガス改質形エネファームについて、CML を用いた評価結果を比較した。比較にあたっては、定格出力 1kW を想定した 2018 年度調査における都市ガス改質形エネファームの燃料電池ユニットの材料構成のうち、触媒以外の材料について、本調査において実施したのと同様、定格出力 700W を想定した 0.6 乗則の適用を行い、再計算を実施した。

結果を使用段階におけるシナリオごとに図 6-1～図 6-4 に示す。いずれの図も純水素形燃料電池を対象とした環境影響評価の結果の値を 100%とした場合の相対比較を示しており、いずれの環境影響領域においても、都市ガス改質形エネファームに比べて純水素形燃料電池の方が環境影響が大きいことが分かる。

尚、「4.3 システム使用段階」で示した通り、本調査では使用段階で消費される純水素の製造については水電解を想定しており、またその際に用いられる電力は欧州の平均的な電力 (Electricity, high voltage {ENTSO-E}| production mix) の利用を想定している。よってこの比較評価の結果は、端的に純水素形燃料電池と都市ガス改質形エネファームとの間のライフサイクルにおける環境側面の優劣を表してはおらず、また日本国内での利用を想定したものでもない点に留意する必要がある。

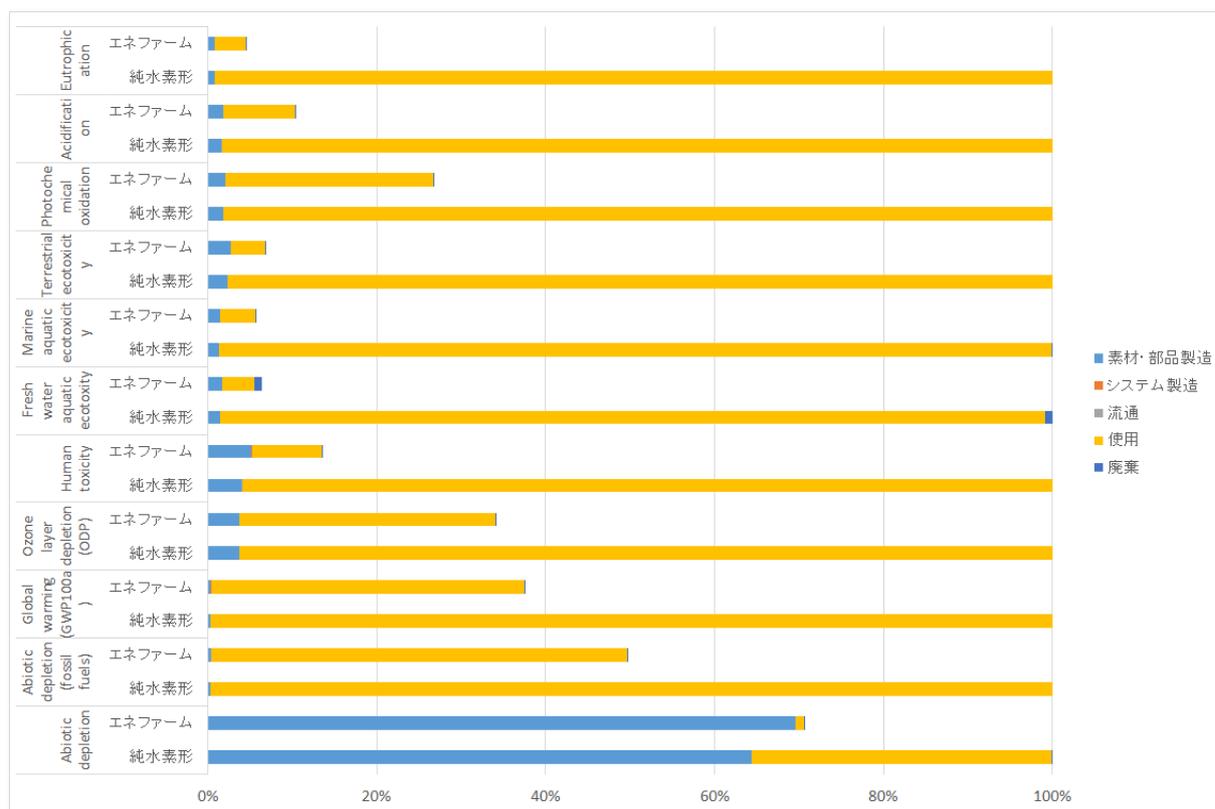


図 6-1 純水素形燃料電池と都市ガス改質形エネファームの比較：中間期・①

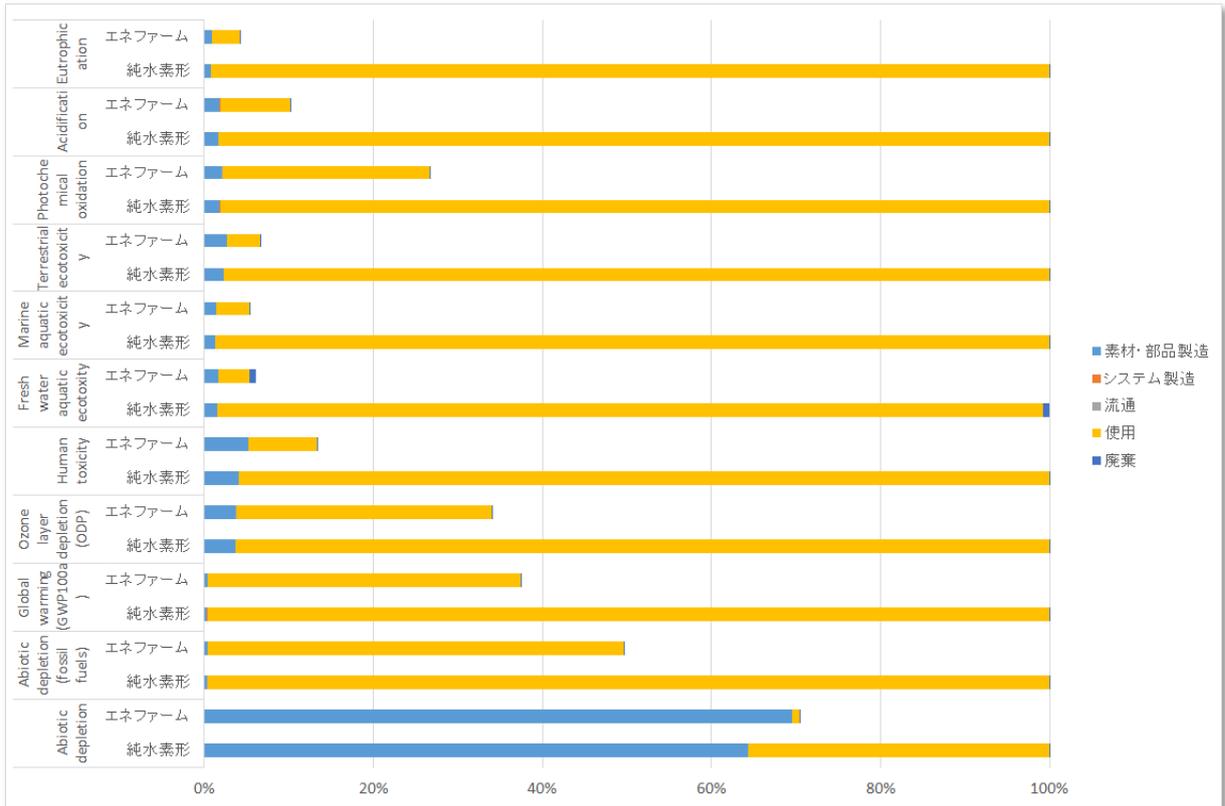


図 6-2 純水素形燃料電池と都市ガス改質形エネファームの比較：中間期・②

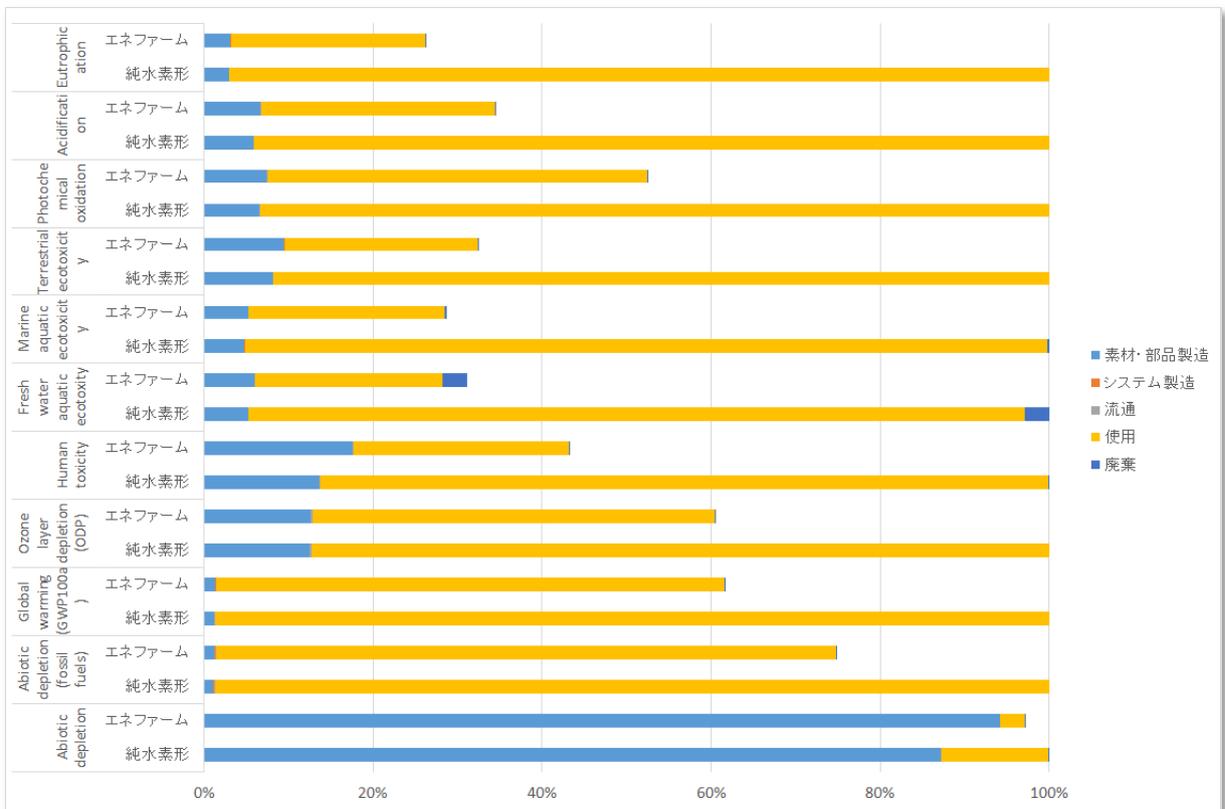


図 6-3 純水素形燃料電池と都市ガス改質形エネファームの比較：夏期・①

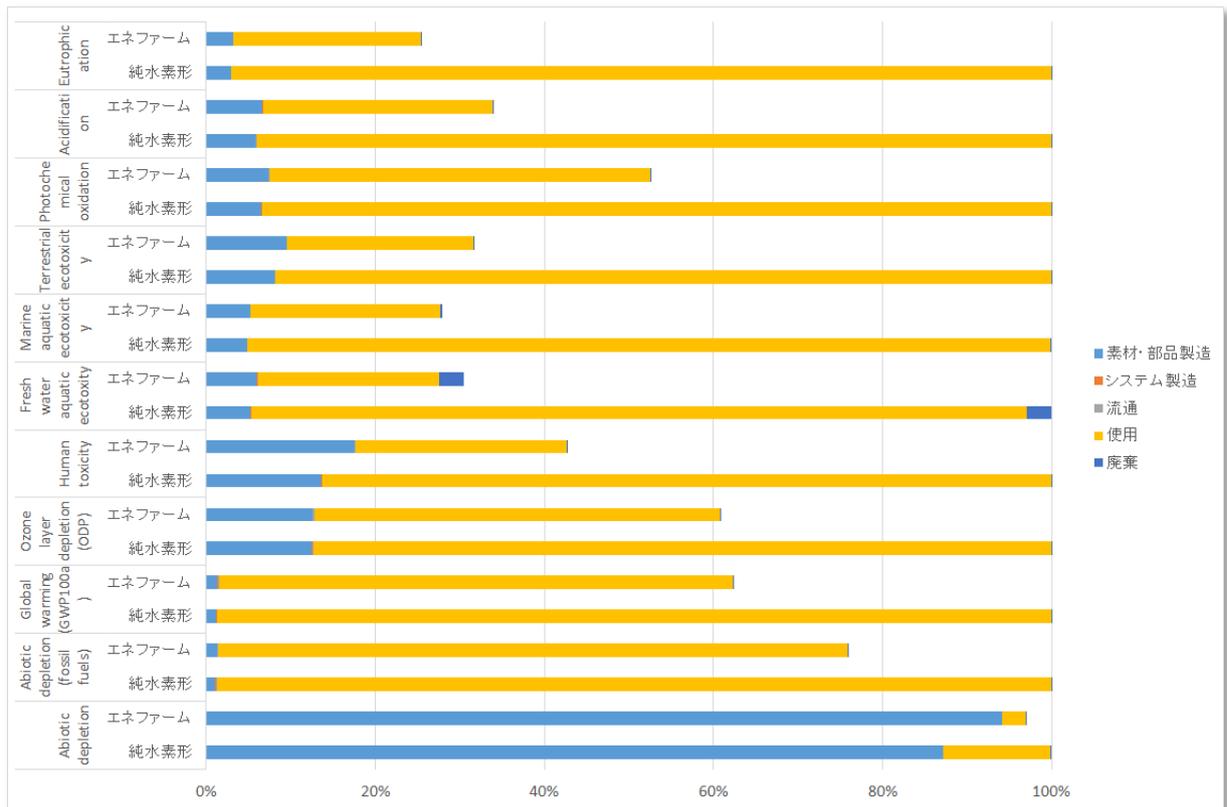


図 6-4 純水素形燃料電池と都市ガス改質形エネファームの比較：夏期・②

CML を用いた地球温暖化における評価結果について、使用段階における純水素又は都市ガスの使用に伴う排出量内訳をシナリオごとに比較した。尚、純水素及び都市ガスについては、燃料電池における使用と補助バーナーにおける使用を分けて示した。その結果を図 6-5（絶対値）及び図 6-6（比率）に示す。

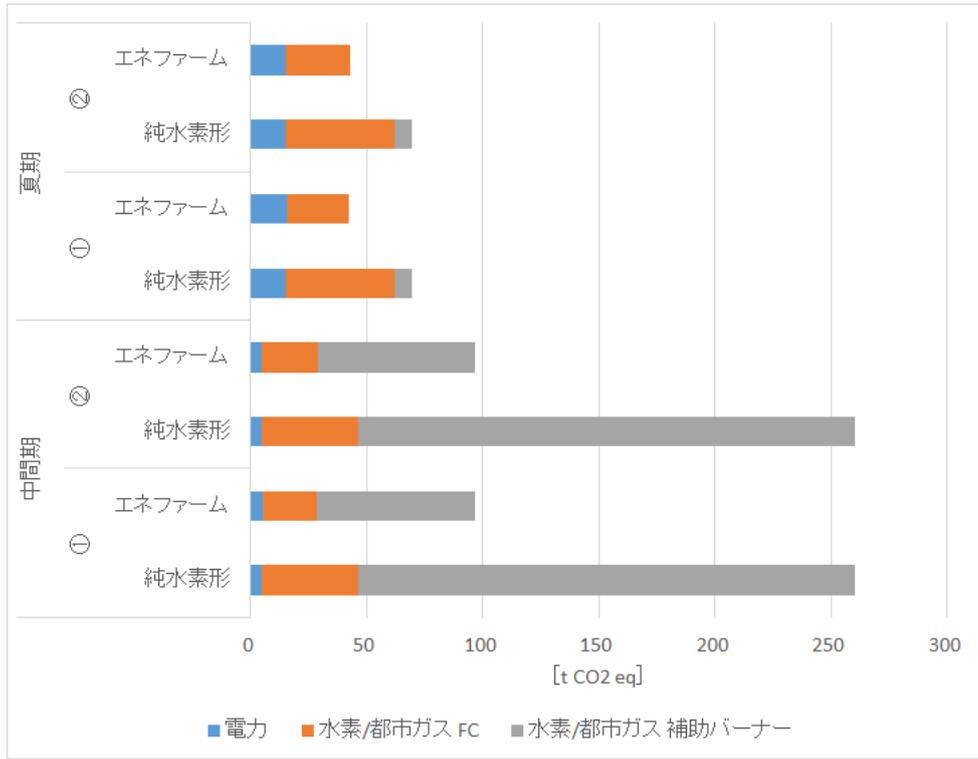


図 6-5 純水素形燃料電池と都市ガス改質形エネファームの比較：使用段階の地球温暖化の内訳（絶対値）

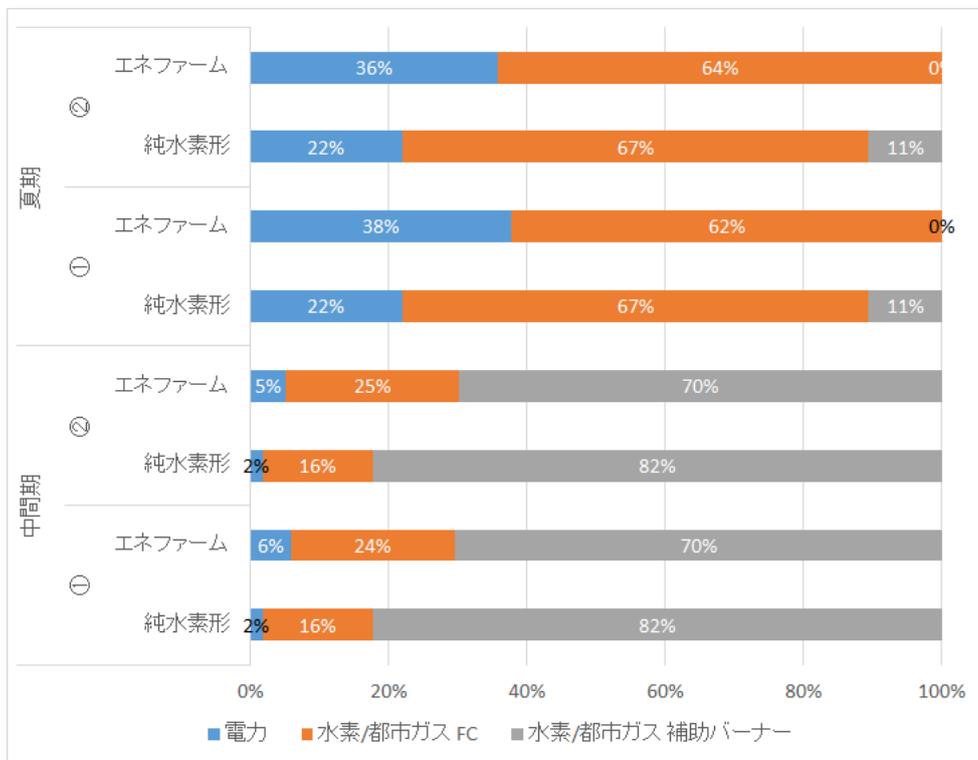


図 6-6 純水素形燃料電池と都市ガス改質形エネファームの比較：使用段階の地球温暖化の内訳（比率）

## 6.2 結果の解釈

ここまでの評価及び分析の内容を基に、評価結果の解釈を行った。その内容を以下に記す。

### 6.2.1 影響領域別の傾向

本調査で採用した環境影響評価手法のいずれにおいても、ライフサイクル段階における環境影響の比率は影響領域ごとに表 6-1 の通りとなった。

表 6-1 ライフサイクル段階における環境影響の比率 影響領域別の傾向

傾向	影響領域
使用段階における環境影響が主	非生物資源枯渇（鉱物）以外の影響領域 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地球温暖化／気候変動</li> <li>・ 酸性化</li> <li>・ 光化学オキシダント生成</li> <li>・ オゾン層破壊</li> <li>・ 非生物資源枯渇（化石）</li> <li>・ 土地利用</li> <li>・ 富栄養化</li> <li>・ 電離放射線</li> <li>・ 粒子状物質</li> <li>・ オゾン生成</li> <li>・ 生態毒性</li> <li>・ ヒト毒性</li> </ul>
素材・部品製造段階における環境影響が主	非生物資源枯渇（鉱物）

尚、環境フットプリントの影響評価手法（JRC [2011]）では、対象とする各影響領域の評価モデルの堅牢性を分析した結果、それぞれの推奨度を以下の3つのレベルに分類している。

- ・ I : 推奨の要件を充分満たしている
- ・ II : 推奨可能だが一部改善が求められる
- ・ III : 注意して利用する必要がある

JRC [2011] における各影響領域の評価モデル推奨度の分類を表 6-2 に示す。CML、環境フットプリント、ReCiPe のいずれにおいても、水圏の生態毒性は素材・部品製造段階及び廃棄段階の影響も他の影響領域と比べて大きく出ているが、毒性系の影響領域はいずれも推奨度の分類がⅢに達しており、評価の指標としての優先度は低いといえることができる。

表 6-2 JRC [2011] における各影響領域の評価モデルの推奨度

影響領域	分類
Climate change	I
Ozone depletion	I
Human toxicity, non-cancer effects	II/III
Human toxicity, cancer effects	II/III
Particulate matter	I
Ionizing radiation	II
Photochemical ozone formation	II
Acidification	II
Terrestrial eutrophication	II
Freshwater eutrophication	II
Marine eutrophication	II
Freshwater ecotoxicity	II/III
Land use	III
Water resource depletion	III
Abiotic resource depletion	II

## 6.2.2 シナリオ間の比較

「3.5 前提条件」で示した通り、中間期、夏期共に、シナリオ間で純水素及び系統電力の消費量に変化はなかった。これは、発電効率と熱回収効率のバランスの関係上、純水素形の場合は貯湯槽が満杯になることがなく、結果的に常に発電を行っていることを指している。

## 6.2.3 都市ガス改質形エネファームとの比較

本調査における純水素形燃料電池と都市ガス改質形エネファームの間の比較評価については、「6.1 都市ガス改質形エネファームとの比較」でも示した通り、いずれの環境影響領域においても、都市ガス改質形エネファームに比べて純水素形燃料電池の方が環境影響が大きい結果となった。この結果の要因としては、以下の2点が考えられる。

### 6.2.3.1 発電効率と熱回収効率のバランスの違い

本調査の評価対象である純水素形燃料電池と 2018 年度調査で評価対象とした都市ガス改質形エネファームとでは、発電効率及び熱回収効率の値が大きく異なり、おおよそ値が逆転している（表 6-3 参照）。

表 6-3 純水素形燃料電池と都市ガス改質形エネファームの発電効率及び熱回収効率

	純水素形燃料電池	都市ガス改質形エネファーム
発電効率	55% (LHV)	35.2% (LHV)
熱回収効率	35% (LHV)	50.6% (LHV)

これは、都市ガス改質形エネファームと比べて純水素形燃料電池は発電に強く給湯に弱いと表現することができる。

「6.2.2 シナリオ間の比較」でも示した通り、純水素形燃料電池の使用段階についてはシナリオ間で純水素及び系統電力の消費量に変化はなかった。これは、純水素形の場合は貯湯槽が満杯になることがなく、結果的に常に発電を行っていることを指しており、ある程度給

湯の需要がある場合には純水素形燃料電池の効率のバランスが不利に働くことを示しているとかんがえられる。

#### 6.2.3.2 純水素の供給方法

「4.3 システム使用段階」及び「6.1 都市ガス改質形エネファームとの比較」で示した通り、本調査では使用段階で消費される純水素の製造については水電解を想定しており、またその際に用いられる電力は欧州の平均的な電力（Electricity, high voltage {ENTSO-E} production mix）の利用を想定している。よって、純水素の製造方法そのものや、水電解の際に用いる電力の電源構成によって、使用段階における環境負荷は大きく変化するものと考えられる。

「6.1 都市ガス改質形エネファームとの比較」でも示した通り、本調査における純水素形燃料電池と都市ガス改質形エネファームの間の比較評価の結果は、端的にこれらの中のライフサイクルにおける環境側面の優劣を表してはおらず、また日本国内での利用を想定したものでもない点に留意する必要がある。

## 7. まとめ

本調査における評価の結果から、定置用燃料電池システムのうち、都市ガス改質形エネファームと同様、純水素形燃料電池を対象としたライフサイクルにおける環境影響を簡易的に評価するにあたっては、使用パターンのシナリオや使用される地域の違いを評価する場合は地球温暖化／気候変動を、また触媒に用いられる金属の使用量の違いを評価する場合は非生物資源枯渇（鉍物）を評価の指標として用いることが有効であると言える。

また本調査では、本調査の評価対象である純水素形燃料電池と 2018 年度調査で評価対象とした都市ガス改質形エネファームの間で、ライフサイクルにおける環境影響の評価結果を比較した。結果として、いずれの影響領域においても純水素形燃料電池と比べて都市ガス改質形エネファームの方が優位となったが、この結果は純水素形燃料電池の使用段階に供給される純水素の製造方法や消費される電力の電源構成に大きく依存していることから、本調査の引用にあたっては、比較の結果を端的に引用するのではなく、実際に定置用燃料電池システムが利用される地域に応じた追加の分析を行うことが求められる。

## 8. 参照資料

- 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO), 社団法人産業環境管理協会 (JEMAI) [1995]: 「平成6年度事業報告書 エネルギー使用合理化手法国際調査」, 平成7年3月
- 財団法人日本エネルギー経済研究所 [1999]: 「わが国における化石エネルギーに関するライフサイクル・インベントリー分析」, <http://eneken.ieej.or.jp/data/old/pdf/enekei/lci.pdf>
- 社団法人日本航空宇宙工業会 [1999]: 「複合材料のインベントリデータ構築に関する報告書」
- みずほ情報総研株式会社 [2005]: 「平成16-17年度成果報告書 燃料電池自動車の普及に関連する技術に対するライフサイクル影響評価等に関する調査」
- International Organization for Standardization (ISO) [2006-1]: “Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework”, ISO 14040: 2006
- International Organization for Standardization (ISO) [2006-2]: “Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines”, ISO 14044: 2006
- みずほ情報総研株式会社 [2008]: 「平成19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 定置用燃料電池システム及び燃料電池自動車のライフサイクル評価に関する調査」
- GHG Protocol [2011]: “Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard”, [http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard\\_041613.pdf](http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf)
- Joint Research Centre (JRC) [2011]: “Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context - based on existing environmental impact assessment models and factors”, First edition, ILCD handbook, EUR 24571 EN – 2011, <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Recommendation-of-methods-for-LCIA-def.pdf>
- Institute of Environmental Sciences Faculty of Science, Leiden University (CML) [2012]: “CML-IA version 4.1”, October 2012
- 環境省 [2015]: 「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」, <https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran2015.pdf>
- P.E.P. Association [2015]: “Product Category Rules for Electrical, Electronic and HVAC-R Products”, PCR-ed3-EN-2015 04 02 (2015), [http://www.pep-ecopassport.org/fileadmin/webmaster-fichiers/version\\_anglaise/PEP-PCR-ed3-EN-2015\\_04\\_02.pdf](http://www.pep-ecopassport.org/fileadmin/webmaster-fichiers/version_anglaise/PEP-PCR-ed3-EN-2015_04_02.pdf)
- Huijbregts, M.A.J.; Steinmann, Z.J.N.; Elshout, P.M.F.; Stam, G.; Verones, F.; Vieira, M.D.M.; Hollander, A.; Zijp, M.; Zelm, R.V. [2016]: “ReCiPe 2016 : A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization”, RIVM Report 2016-0104, <http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=b0c868fc-15af-4700-94cf-e0fd4c19860e&type=pdf&disposition=inline>
- ecoinvent centre [2017]: “ecoinvent version 3.4”
- 国立研究開発法人建築研究所 [2017]: 「家庭用燃料電池試験基準及び運用の指針」, [http://www.kenken.go.jp/becc/documents/house/testing\\_method\\_fc\\_v03\\_170214.pdf](http://www.kenken.go.jp/becc/documents/house/testing_method_fc_v03_170214.pdf)

- LCA 日本フォーラム (JLCA) [2018] : 「JLCA-LCA データベース 2018 年度 3 版」 ,  
<http://lca-forum.org/database/>
- PRe Consultants : “SimaPro” , <https://simapro.com/>