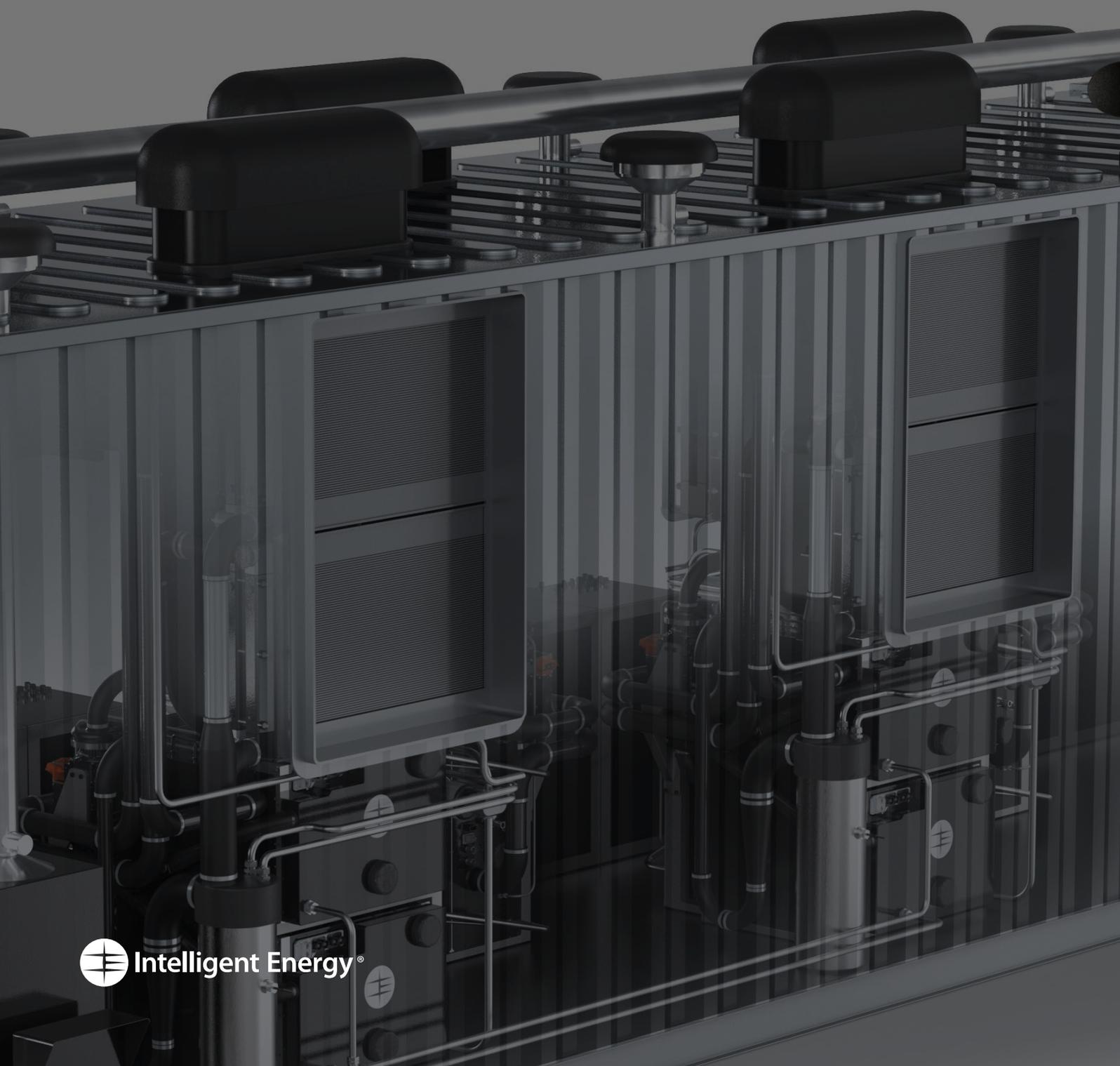




# 新規排熱管理技術を活用した 定置用燃料電池の高効率化



# 1. 要旨

この白書では、定置用電源としての燃料電池利用の利点と、特に当社の気化熱冷却方式燃料電池の構造について詳しく説明する。

また、熱電併給(CHP)システムにおける潜在的排熱利用価値の特徴を示す。

データ解析にはMATLAB Simulinkが使用されており、「Fuel Cell Systems Explained」<sup>1</sup> および「Temperature regulation in evaporatively cooled proton exchange membrane fuel cell stack」<sup>2</sup> に詳述される圧縮乾燥空気活用、熱力学方程式、電気化学方程式を活用。

これらの計算は、当社の燃料電池スタックから測定した電圧データと、IE-DRIVE<sup>ETM</sup> HD100燃料電池システムによる圧力損失値で補足計算している。

すべての効率計算では、水素の低位発熱量（33.3kWh/kg）を使用。

執筆者

クリス・ダッドフィールド博士、最高技術責任者

クリス・モロー、IE-DRIVE製品開発責任者

エミリー・フォスター、マーケティング・マネージャー

<sup>1</sup> Dicks, A.L. & Rand, D.A.J. (2018) 'Fuel Cell Systems Explained', 3rd edition, Wiley, ISBN 978-1118613528

<sup>2</sup> Fly, A. & Thring, R.H. (2015) 'Temperature regulation in an evaporatively cooled proton exchange membrane fuel cell stack', International Journal of Hydrogen Energy Volume 40, Issue 35, pp.

## 2. 燃料電池の概要

水素燃料電池の役割は、水素と酸素の電気化学反応によって化学エネルギーを電気エネルギーに変換すること。このプロセスの副産物は、水蒸気と排熱のみ。

水素燃料電池は、使用時に二酸化炭素排出ゼロの電力を供給する。水素燃料電池は、自動車、航空宇宙、定置用発電、鉄道、船舶、マテリアルハンドリングなど、さまざまな業界において、従来の内燃機関やバッテリー技術に代わるエネルギー源として使用できる。燃料電池技術は、質量、動作温度、出力密度、燃料の柔軟性などその性能特性により、さまざまな市場分野や用途で使用される。

	固体高分子型	固体酸化物型	アルカリ型	リン酸型
電解質	高分子膜	セラミック	水酸化カリウム	リン酸
アノード触媒	Pt	Ni + YSZ (セラミック)	Ni, Pt, Pd	Pt
カソード触媒	Pt	LSM (セラミック)	Pt, Pd, Ag, MnO <sub>2</sub>	Pt
標準的な燃料	水素	天然ガス、エタノール、バイオガス	水素、アンモニア	水素、メタノール
標準反応温度	50-100°C	500-1000°C	40-75°C	150-200°C
セル効率	50-60%	60%	60-70%	40-50%
標準消費電力	1W~+1MW	10W~+1MW	500W~+200kW	100W~+400kW
セル出力密度/Wcm <sup>2</sup>	2	1	1	0.3
メリット	起動時間 過渡応答 小型 軽量	燃料の柔軟性 効率性	起動時間 効率性 低コスト 低温運転	運転安定性 技術の成熟度 シンプルな構造 不純物耐性
デメリット	水素純度 湿度感受性 触媒費用	起動時間 過渡応答 高価な原材料	比較的高いCO <sub>2</sub> 感受性 液体電解質管理	出力密度 腐食性液体および蒸気 触媒費用
用途	自動車、航空宇宙 無人航空機 (UAV) マテハン機器 (MHE) ポータブル電源 定置用電源	定置用電源 海洋 熱電併給	軍事 定置用電源	定置用電源 熱電併給

表1 燃料電池の比較

固体高分子（PEM）型燃料電池は、他の燃料電池技術に比べ、重量エネルギー密度と体積エネルギー密度が高く、さらに起動時間や負荷追従時間が短いことが特徴。これらの強みにより、さまざまな用途での利用が可能。特に、自動車業界がこれらの基本的特性に基づいてPEM型燃料電池を使用しており、PEM技術の採用は順調に進んでいる。

定置用電源としての利用では、信頼性の高いクリーンな電力を供給するだけでなく既存の電力網に依存しないため、多くの用途で持続可能なマイクログリッドとして使用することが可能。高出力密度と容易な拡張性により、他の燃料電池のようにスペースの制約を受けることなく、メガワット規模の電力を享受できる。

### 3. 定置用電源としての燃料電池

熱電併給(CHP)システムは、発電時の化学反応の副産物として発生する熱を回収して利用することが可能である。この排熱利用により、CHPシステムはより効率的なシステム構成オプションと言える。

マイクログリッドとは、1種類以上の分散型電源から構成される、独立したエネルギーシステム。通常、太陽光や風力発電などの再生可能エネルギーと、それに適した蓄電池や水素等のエネルギー貯蔵技術を共に利用することが一般的で、一定エリア内のユーザー向けに、持続可能なグリーンエネルギーを提供する電力網となる。

マイクログリッドは大規模電力網から独立して動作するため、遠隔地での利用と、間欠性リスクがない一定の電力供給（高可用性）の両方が可能。また、図1に示すように、大規模電力網の電力供給を強化し、バランスをとるというメリットがある。

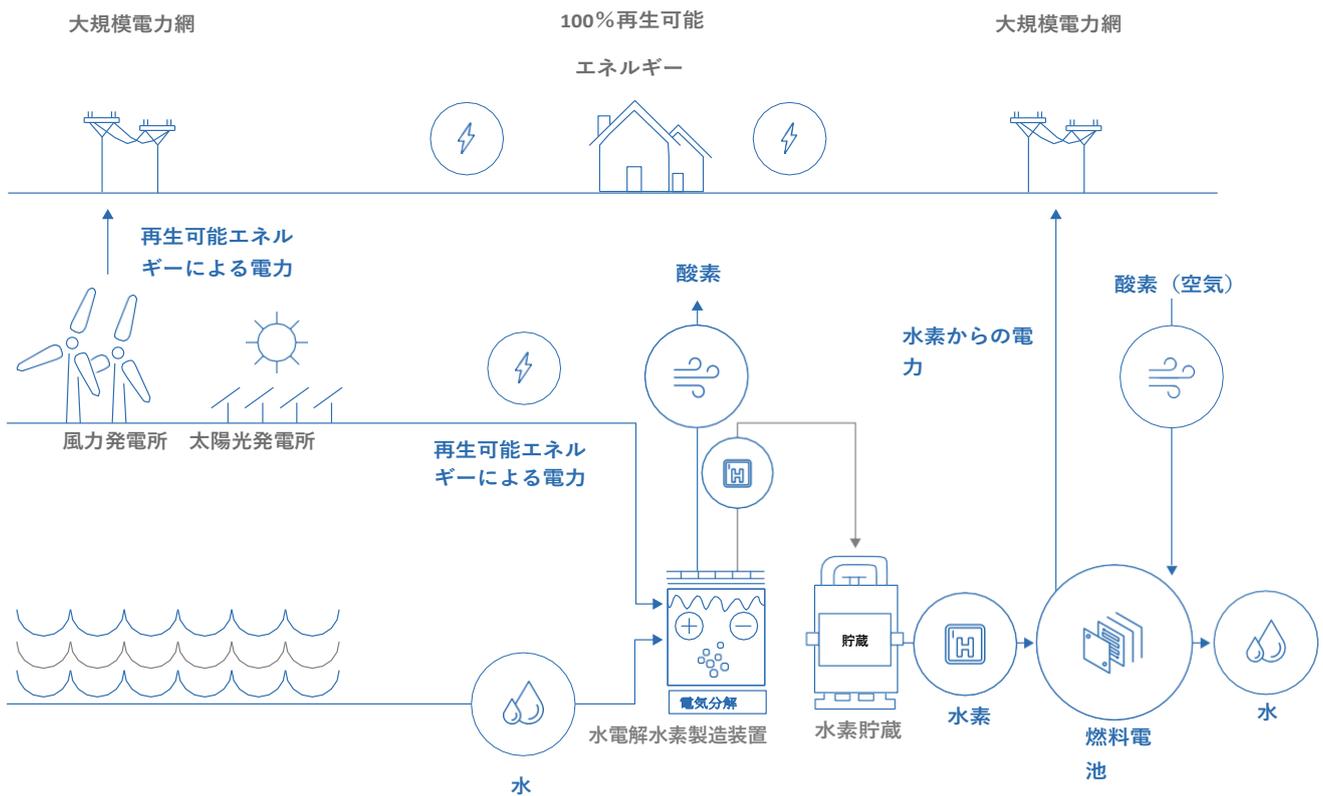


図1 標準的なマイクログリッド

PEM型燃料電池が自動車業界における燃料電池技術として採用されていることから、製造コスト削減し、量産可能性が高いことは明らかである。例えば、カリフォルニア州燃料電池パートナーシップは、2030年までに100万台の燃料電池電気自動車採用を目標に掲げており<sup>3</sup>、乗用車市場が大きな成長市場となっている。生産量の増加に対応するためインフラを継続的に進化させる必要があり、関連する製造プロセスにおいてはコスト削減と品質向上に影響を与える。

その結果、PEM技術のコストは低下し、定置用電源等、他の用途でコスト目標を達成することが可能。米国エネルギー省<sup>(4)</sup>と英国先進技術推進センター<sup>(5)</sup>が発表した最新のPEM型燃料電池システムのコスト目標は、米国が2030年に、英国が2035年(英国)に80ドル/kW。

また、サプライチェーンの成長と大量生産を促進する国の補助金や助成金制度の実施により、コスト削減目標が達成されると期待されている。米国では、米国エネルギー省<sup>6</sup>が最大70億ドルの公的資金を投入し、地域クリーン水素ハブプログラム(H2Hubs)が創設された。この取り組みにより、全米に7つの地域クリーン水素ハブを設立し、複数業界の脱炭素化に大きく貢献する全国クリーン水素ネットワークが形成される予定である。このハブは、量産経済効果を促進のため、製造とインフラを整備することを目的としている。

米国のインフレ抑制法(IRA)も水素製造コストの削減を後押ししており、燃料電池技術のスケールアップと普及を可能にする重要な要素となっている。

水素のコストは、定置電源利用における総運用コスト(TCO)に大きな影響を与える主要因のひとつである。特に、主な製造工程が水蒸気メタン改質から、低コストの再生可能エネルギーによる電気分解に移行するにつれて製造コストが削減されるため、kg当たりのコストは時間の経過とともに低下すると予測されている。

2021年、再生可能エネルギーによる水素のコストは約5<sup>7</sup>ドル/kg<sup>7</sup>。国際クリーン輸送協議会(ICCT)は、このコストが2030年までに米国では3.5ドル/kgまで低下すると見積もっている<sup>8</sup>。

PwCによると、2050年までに、中東、アフリカ、ロシア、中国、米国、オーストラリアの一部の地域では、グリーン水素の製造コストが1kgあたり1ドルから1.62ドルの範囲になると予測している<sup>9</sup>。

消費者価格は、圧縮、輸送、供給のコストも含まれるため、製造コストより大幅に高くなる。

<sup>3</sup> カリフォルニア州大気資源局、[https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2019-07/AB8\\_report\\_2019\\_Final.pdf](https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2019-07/AB8_report_2019_Final.pdf)

<sup>4</sup> 米国エネルギー省、米国国家クリーン水素戦略およびロードマップ(2023年)

<sup>5</sup> 英国先端推進システム技術センター、燃料電池ロードマップ2020(2021年)

<sup>6</sup> 米国エネルギー省、<https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-announces-7-billion-americas-first-clean-hydrogen-hubs-driving>

<sup>7</sup> 米国エネルギー省、<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-shot>

<sup>8</sup> 国際クリーン交通委員会、<https://theicct.org/the-price-of-green-hydrogen-estimate-future-production-costs-may24/#:~:text=The%20ICCT's%20central,%20estimates%20of,compared%20with%20other%20published%20values>

<sup>9</sup> PwC、<https://www.pwc.com/gx/en/industries/energy-utilities-resources/future-energy/green-hydrogen-cost.html>

## 4. 燃料電池の熱マネジメント

燃料電池からは発電時に熱エネルギーが放出される。電気出力が高いほど、放熱エネルギーも大きくなる。燃料電池の技術や用途が異なれば、冷却要件や構成も異なる。PEM型燃料電池の熱管理には、用途と補器類（BOP）の要件に応じて3種類の方法がある。

- 空冷
- 液冷
- 気化熱冷

空冷式燃料電池は、関連システムが最もシンプルである。カソードでの酸化として供給される空気は、化学反応から発生する熱の除去も行うという仕組み。このシステムは、kW未満から20kWの領域で機能する。それ以上の出力においては、空気流量が増加するため、特にシステム構成が大きくなってしまふこととなる。

液冷および気化熱冷システムは、冷却プロセスの性質上、空冷式よりもシステム構成がかなり複雑になる。このため、BOP（の質量、体積、コスト）が電気出力量に見合わないため、低出力での使用は避けるべきで、20kW以上の出力に理想的なシステムとなる。

より高いスタック出力密度と熱管理のメリットを利用できるこの技術は、空気と水の両方を受け入れるカソード設計のため、通常、若干高負荷なエアコンプレッサーを必要とし、圧力比を増加させ、システム全体の効率を最大2%低下させる。

液冷燃料電池の値を算出するために、一貫したスタックの分極データを使用していると仮定している。これにより、システム全体の性能の同種比較が可能となる。

しかし、気化熱冷却式燃料電池のスタックは、専用のプレート間冷却板、加湿器が不要なため、出力密度の向上と、熱交換器に比してコンデンサーの小型化を可能とする。先述の効率低下は相殺されるため、IE-DRIVEおよびIE-GRIDシステムの実用性が大幅に向上する。

## 5. 気化熱冷却式燃料電池技術

気化熱冷却（EC）技術では、個々のセルに直接水を注入する。電気化学反応で発生する熱エネルギーは、水が蒸発する相変化の間に吸収されます。蒸発した水と酸素を失った空気は、セルのカソードから排出される。

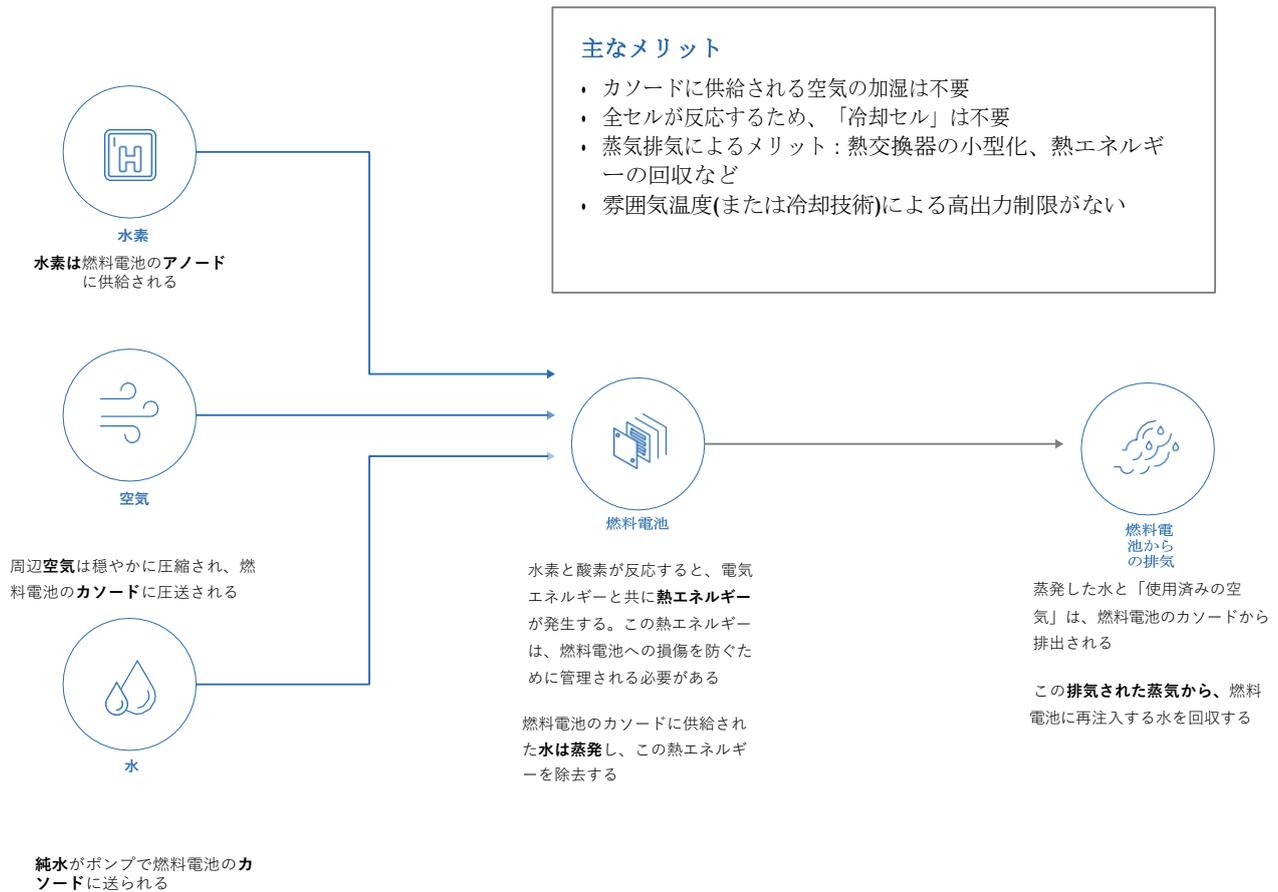


図2 気化熱冷却式燃料電池

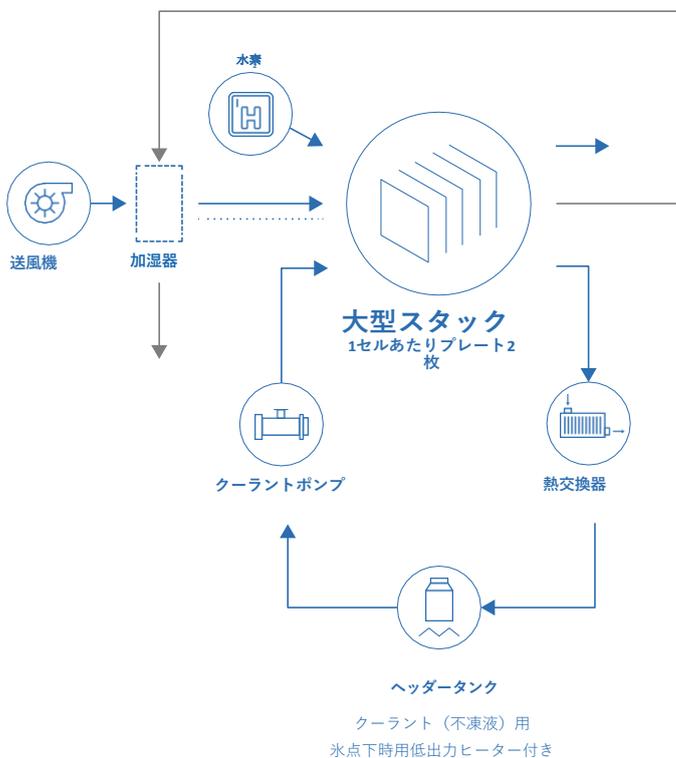
気化熱冷却式燃料電池では、採用されるセル冷却メカニズムにより、必要なシステムBOP（バランスオブプラント）を従来の液体冷却式（LC）に使用されるものよりもシンプルにできる。（図3）気化熱冷却式燃料電池システムの核となる流体要素は、以下の通り。

- **気化熱冷却式燃料電池スタック**：化学エネルギーを電気エネルギーと熱エネルギーに変換するシステムの心臓部
- **エアコンプレッサー**：燃料電池スタックのカソードに、化学反応の酸化剤として使用される空気を供給

- **水素供給装置**：燃料電池スタックのアノード（燃料極）に水素燃料を供給
- **水タンクとウォーターポンプ**：水を貯蔵するタンクと、蒸発冷却のため燃料電池スタックに水を供給するポンプ
- **コンデンサーとウォーターセパレーター**：カソード排気に含まれる蒸気を凝縮、液化回収し、水タンクに戻して燃料電池に供給する熱交換器

### 液体冷却技術

冷却水と酸化剤の個別チャンネル



### 気化熱冷却式

冷却水と酸化剤の複合チャンネル

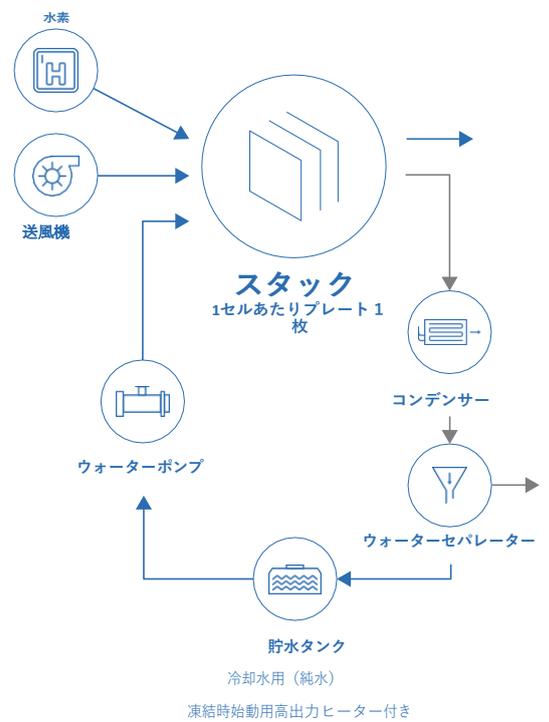


図3 気化熱冷却式と液体冷却式の燃料電池技術の比較

図4は、IE-GRIDの標準的なシステム構成の基本的なレイアウトを示しており、カソードの流体要素（空気と水）だけに焦点を当てた図となっている。主要なシステムコンポーネントの用語集については、付録1参照。

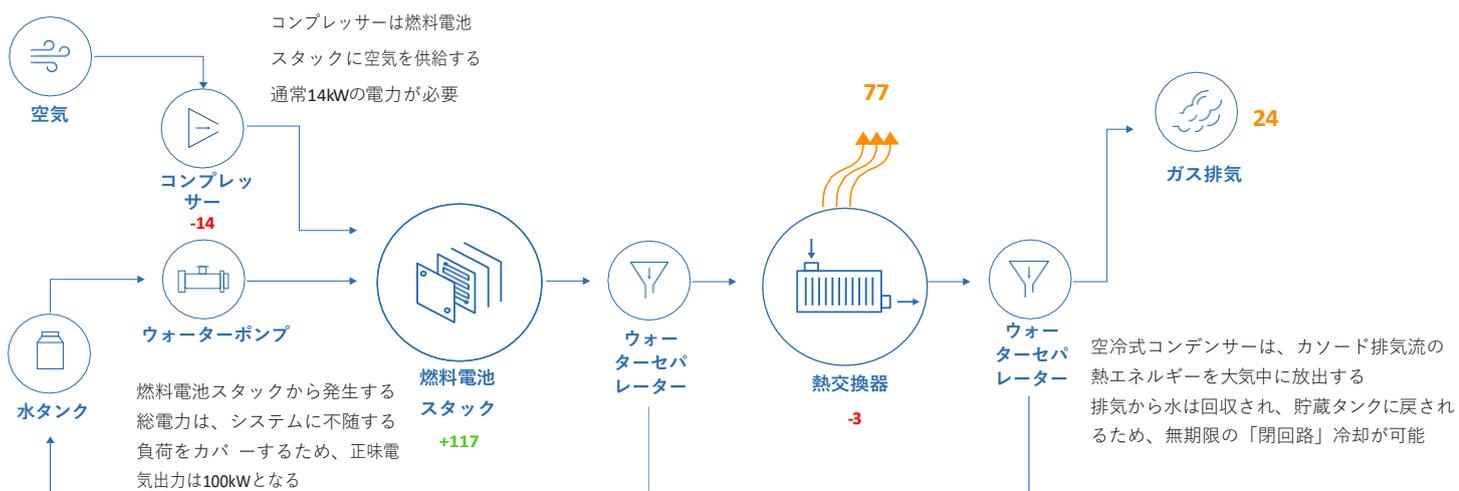
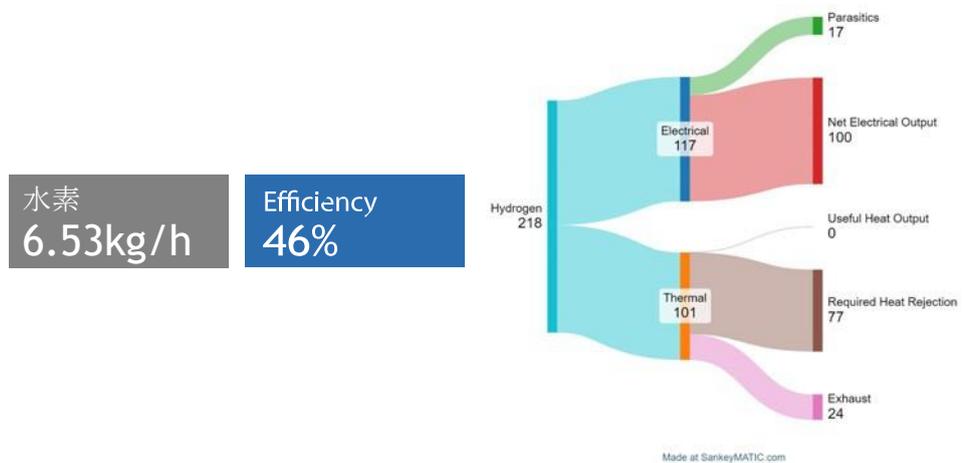
この標準構成ではIE-DRIVE HD100システムを使用し、下記の数値を色分けして表記。

- 電気消費量、補器ロスはマイナスで表示（赤字）
- 発電量はプラスで表示（緑字）
- 生成された熱エネルギー量（オレンジ）

異なるシステム構成を比較するため、シミュレーションは正味電気出力100kW基準として設定。

図4に示す標準型システムでは、燃料電池スタックは117kWの総電気出力を生成し、コンプレッサー（14kW消費）と凝縮熱交換器のファン（3kW消費）の電力として使用され、その結果、100kWの正味電気出力が得られる。

燃料電池は101kWの熱力を生成するが、そのうち77kWは除去の必要がある。必要な蒸気を凝縮液化し、燃料電池スタックに注入し電池の過熱を抑え、連続運転を可能にする。残りの24kWは排気口から排出される。結果、システム効率46%となり、これはシステム利用可能出力電力を消費水素量で割った単純計算で算出される。



注：数値はkW単位

図4 IE-GRID標準タイプ (100kW)

気化熱冷却式燃料電池の設計に関連する利点には、以下のようなものがある。

- 個々のセルは、水を注入することで完全に加湿されるため、大型の外部加湿器や、セル間の加湿を可能にする複雑なセルコンポーネントの設計は不要。
- 出力密度 (kW/kgとkW/Lの両方) は、「冷却セル」の除去によってスタック部分で向上させることができる。全セルで発電し、プレートはバイポーラプレート (双極板)。
- 凝縮熱交換器の正面面積は、従来の液体冷却システムで同等の定格電力のものより27%縮小化可能。<sup>10</sup>
- 熱慣性が低いため、水を直接注入することで瞬時に劇的に加湿でき、過渡負荷時の耐久性が向上する。

気化熱冷却式構成の特有の2つの利点について、さらに詳しく説明。

- 雰囲気温度への非依存性
- 熱エネルギーの有効利用

当社は、気化熱冷却技術に関して400件の特許を取得。

---

<sup>10</sup>Fly, A. & Thring, R.H. (2016) 'A comparison of evaporative and liquid cooling methods for fuel cell vehicles', International Journal of Hydrogen Energy Volume 41, Issue 32, pp.

## 6. 雰囲気温度への非依存

従来の液体冷却式燃料電池では、電気化学反応によって生成された熱エネルギーを除去するために、再循環された液体冷却剤（グリコールなど）を使用。冷却剤の温度が燃料電池の利用可能電力に制限を与えるため、冷却剤が燃料電池に再循環される前に、この液体を許容温度まで冷却する必要がある。



図5 燃料電池管理サイクル

気化熱冷却式燃料電池では、冷却水がいかなる温度でも液体である（蒸気でない）ことが要件。よって、冷却水の温度は、燃料電池の利用可能な出力電力に影響を与えない。自動車に应用する場合、標準的な運転電力や「定格」電力よりもはるかに高いピーク電力を得ることができる。また、定置用電源の場合、わずかな補充水流を組み込むことで、熱交換器を取り外すことが可能。

### 熱交換器の取り外し

前述の通り、燃料電池に必要な量の水が供給されている限り、排出熱エネルギーを燃料電池スタックとシステムから放熱することができ、燃料電池システム回路から熱交換器を取り除くことができる。そのため、図2に示すように、例えば正味電気出力100kWの場合、約125kg/h（2L/min）の冷却水を燃料電池システムに供給する必要がある。

最も単純な凝縮熱交換器は空冷式で、単に熱交換器（低温側）上に空気を通過させ、燃料電池の排気流（高温側）から熱を吸収。従い、雰囲気温度は熱交換器の性能に大きく影響するが、この熱交換器の必要性がなくなれば、雰囲気温度に左右されなくなる。

燃料電池の熱交換器への依存を取り除くことで、周囲条件に左右されないといったメリットを享受できるだけでなく、システム効率も大幅に向上する。燃料電池の化学反応に空気を供給するエアコンプレッサーについては、熱交換器の後ろ側の圧力制限がカソードに与える影響を考慮する必要がなくなる。コンプレッサーは、

カソード反応に酸素を供給する燃料電池システム最大の補器ロスであり、その消費電力が削減にて、消費水素量の減少により、燃料電池システム全体の効率と運転コストが大幅に改善される。

さらに、気化熱冷却式燃料電池の性質上、加熱された空気と蒸気を介して、反応中に生成されたすべての熱エネルギーを「排出」するため、熱エネルギーを回収できる可能性がある。これはターボエキパンダーによって可能で、コンプレッサーの消費電力を効果的に最大40%削減することができる。

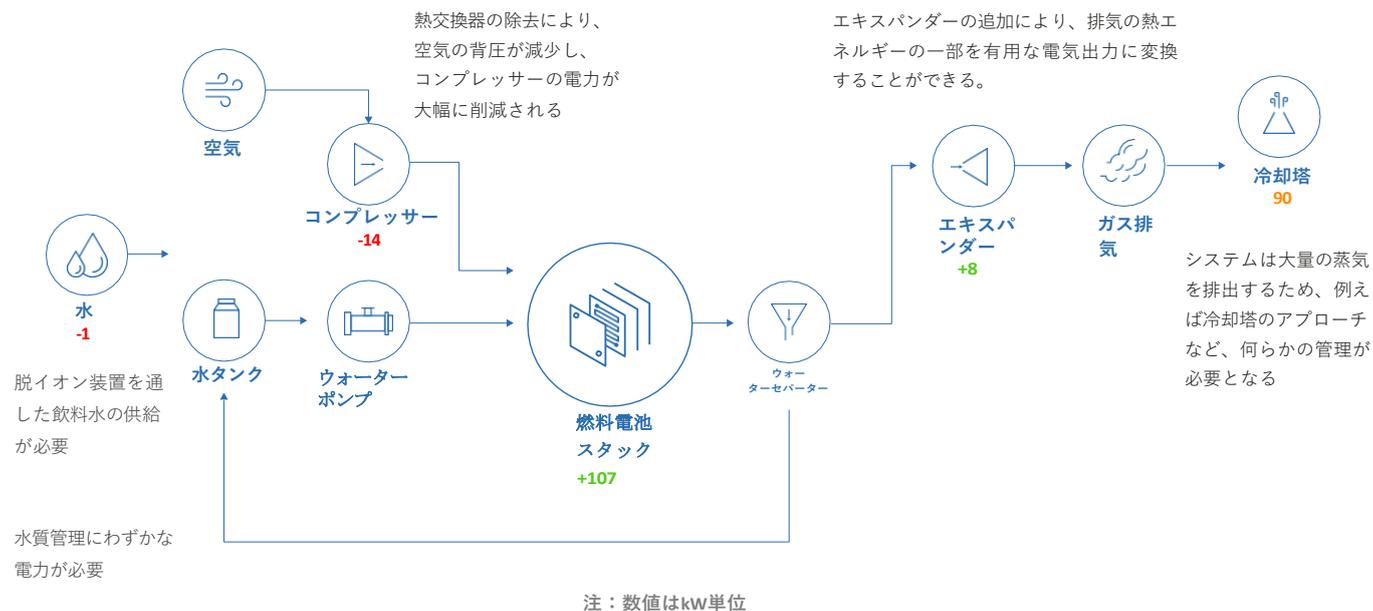
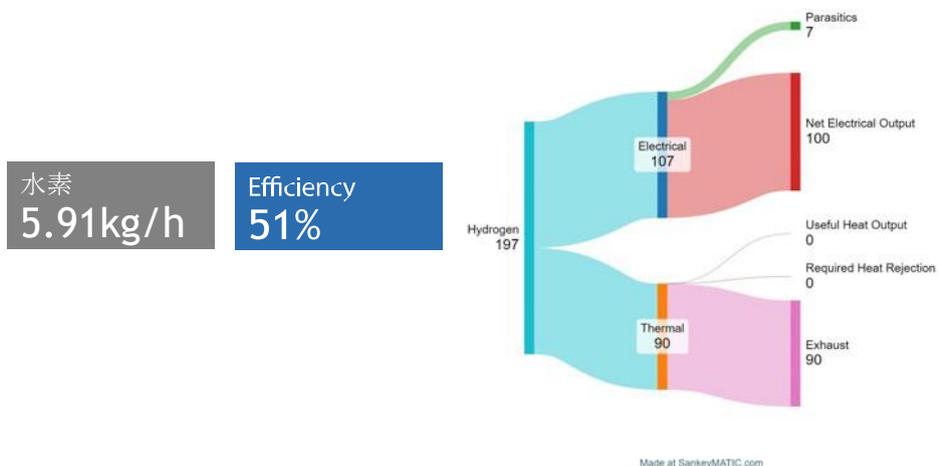
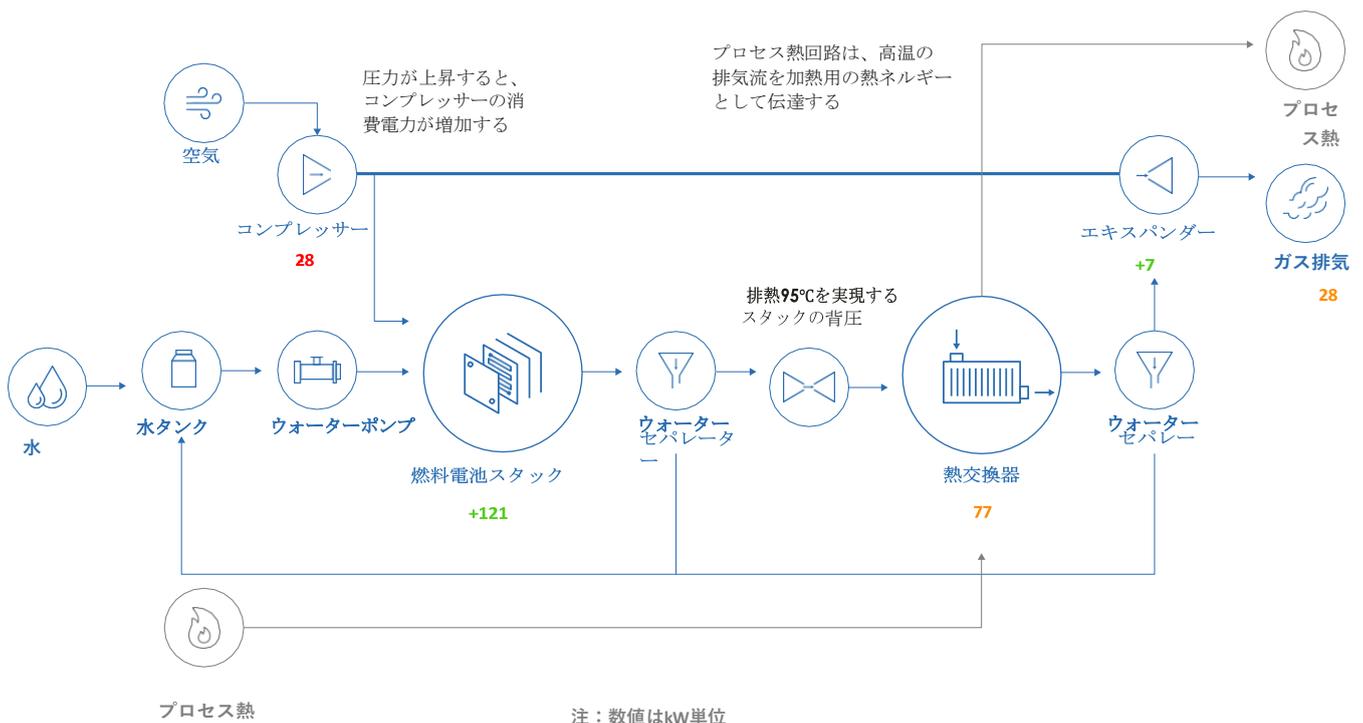
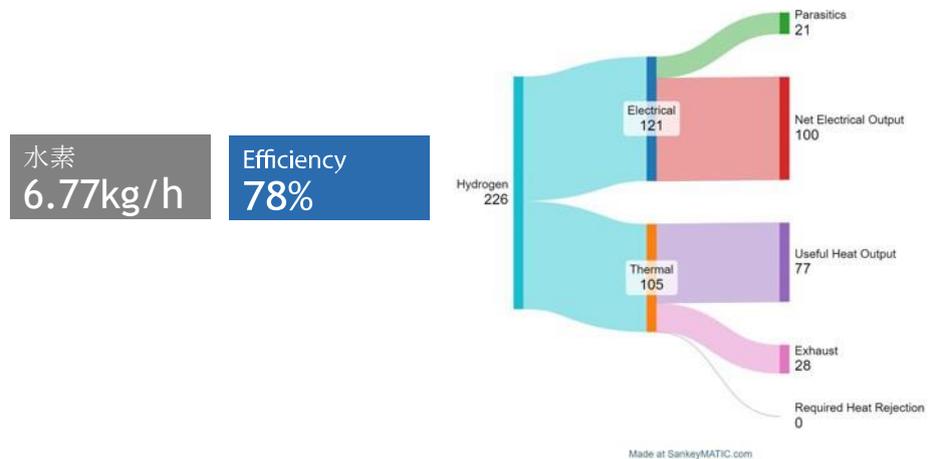


図6 IE-GRID コンデンサー除去タイプ (100kW)

## 7. 高位発熱量

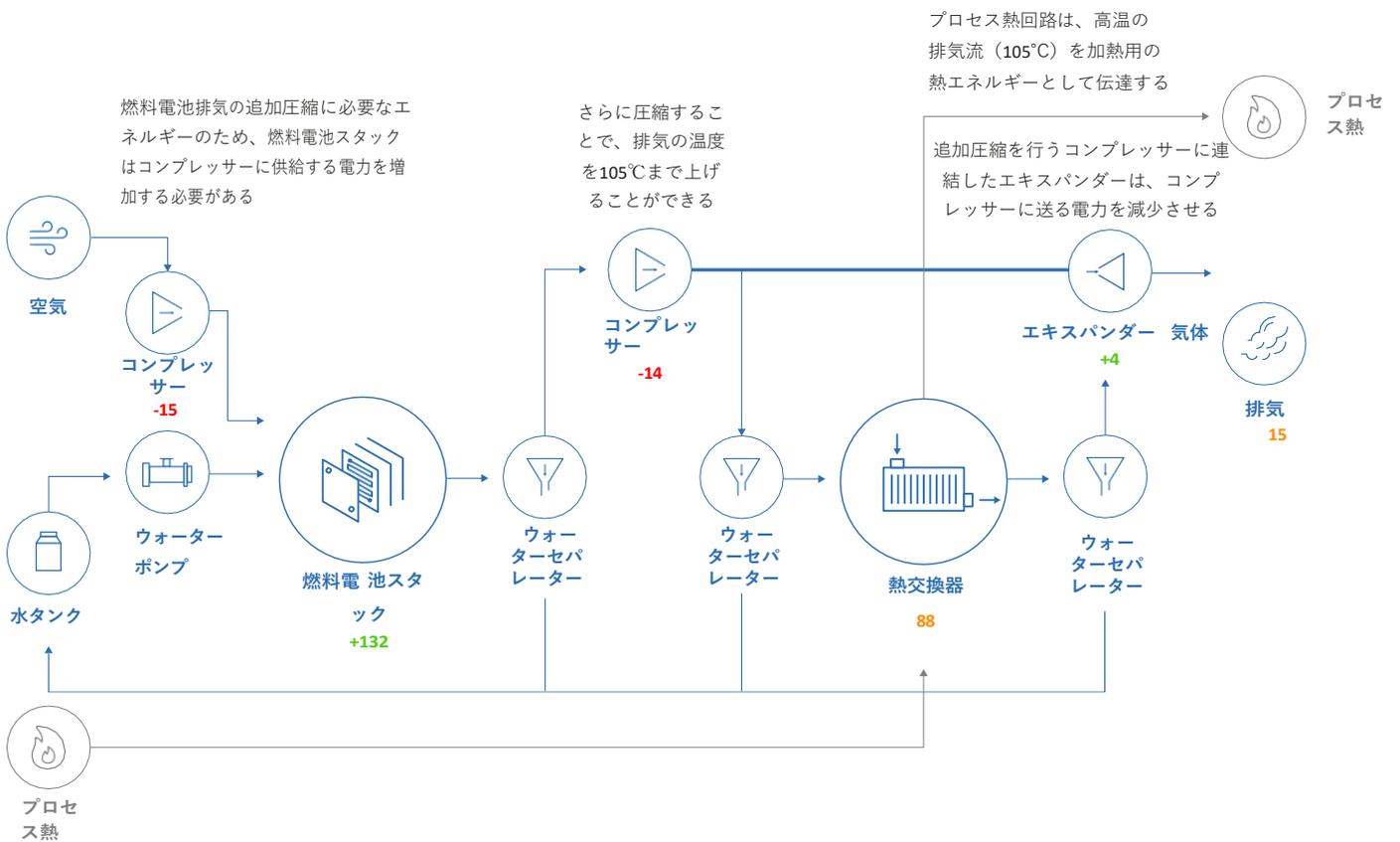
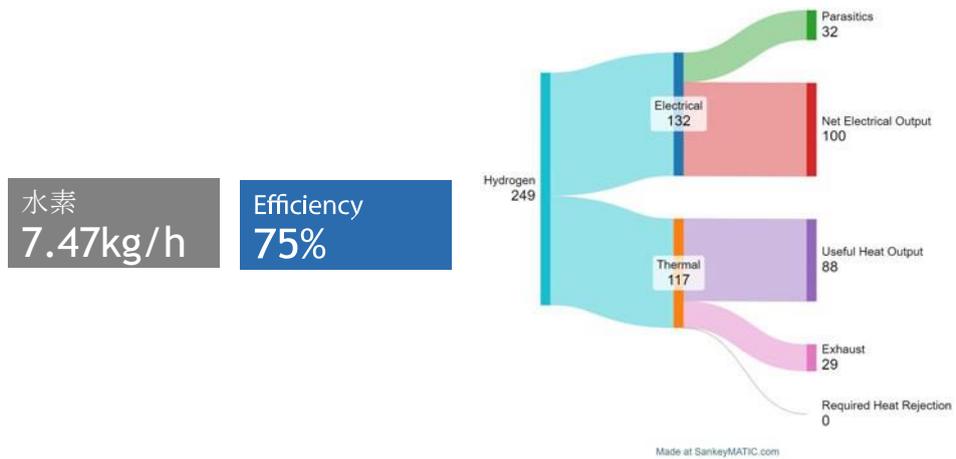
PEM型燃料電池の反応温度は通常75℃ (±10℃)。PEM型燃料電池からの排熱は、最低限必要な温度との差により効率的な再利用が困難。参考までに、化石燃料の燃焼から得られる利用可能な排熱の温度は、通常400℃超。PEM型燃料電池の排熱を利用するためには、生成熱としての温度要件を満たすため、作動温度を上げる必要がある。

セル温度を上げるために、カソード側後圧を上げる方法がある。この方法は、カソード側のエアコンプレッサーへの圧力が增大すること、燃料電池材料の温度考慮が必要となること、といったデメリットがある。しかし、コンプレッサーの電力需要の増加は、ターボエキパンダーがエネルギーを回収するため、一部相殺される。図7に示すように、生成熱の排熱利用は、現在では有用な出力エネルギーの増加と認識され、システム全体の効率に大きく寄与する。



気化熱冷却式燃料電池は排気温度を上昇させる性質があり、第二の選択肢も可能。この選択肢では、セル温度に影響を与えたり、セル材料の選択に影響を与えることなく、排気蒸気分をさらに圧縮することで、排気温度を上げることができる。これにより、燃料電池の反応によって生成された熱エネルギーを、100°C以上というはるかに使いやすい温度で利用できるようになる。このように熱交換器の高温側の温度を上昇させることで、図8に示すように、かなりのエネルギーを加熱回路に伝達することができる。

圧力を上げる必要があるため、補器ロスと水素消費量は増加するが、一般的に「非効率的」とされる熱損失が回収されるため、システム全体の効率は向上する。



注：数値はkW単位

図8 IE-GRID 排気圧縮タイプ (100kW)

## 8. IE-GRIDのモジュール化

系統安定のバックアップ電源として、あるいは恒久的な電源として、コンテナ型燃料電池をベースとしたソリューションに対する需要は世界的に大きく、米国ではすでに550MWを超える定置用燃料電池が設置され、クリーンな分散型電力を供給している<sup>11</sup>。

当社のPEM型燃料電池製品の主なメリットは、モジュール設計による拡張性。特にIE-GRID™ は、市販製品のIE-DRIVE HD100（図9）をベースにしており、2つのコアシステムを発電に適した構成で利用し、200kWのモジュールを形成する（図10）。これにより当社は、コンテナ化されたソリューション（必要に応じてコンテナのスケールアップが可能）により、メガワット規模までの需要に適した電力を、幅広い産業に供給することができる。大型商用車分野でのPEM燃料電池の使用は、長時間の連続高出力運転などの特殊な特性を後押ししており、この特性は定置用電源としての応用に非常に適している。



図9 IE-DRIVE HD100

この200kWのブロックは、一般的なシステムBOP（補器類）部品を使用し、10フィートコンテナ（図11）タイプで400kWの出力、30フィートコンテナ（図12）タイプで1MWの出力など、用途に応じて拡張し、出力増強することができる。

拡張はシンプルで、200kWのブロックを複数つなげることで、柔軟な出力設定が可能。各200kWユニットは、より大規模なシステム全体の一部であるが、必要に応じて負荷追従運転が可能で、他のユニットとは独立して動作するため、メンテナンス時に冗長性を確保することができる。システムは、適切なサイズの周辺機器を選択することにより、さらなる効率向上とコスト改善（CAPEXとOPEX）を達成できる。例えば、複数のツインスクリューコンプレッサーが大量の酸化剤としての空気を一定かつ効率的に供給するなど、複数の200kWユニットを共通の流体管理システムで管理する。

<sup>11</sup> 水素・燃料電池技術局、<https://www.fchea.org/stationary>

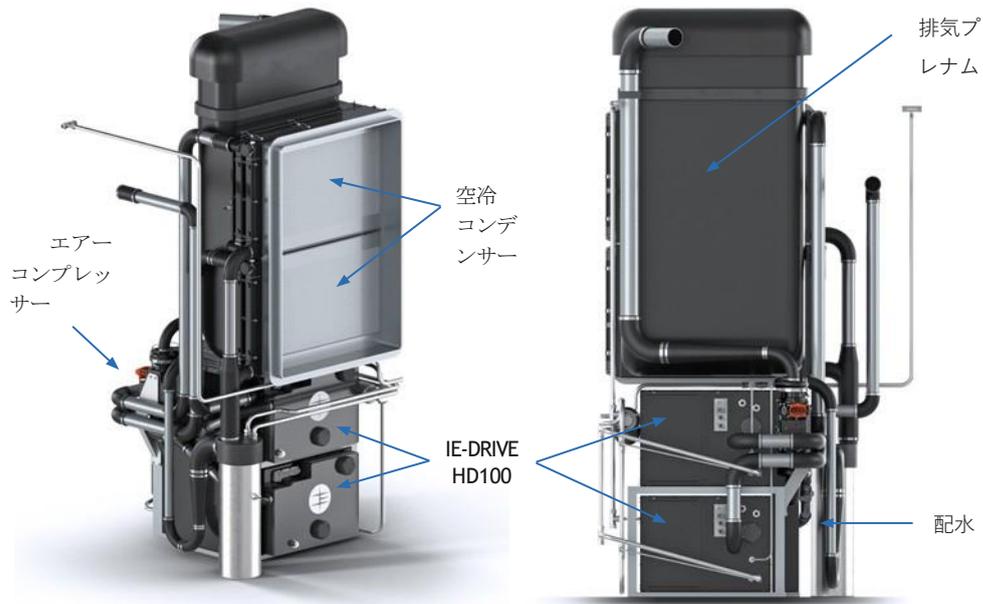


図10 IE-GRID 200kW ビルディングブロック



図11 IE-GRID 400kW 10 フィートコンテナタイプ

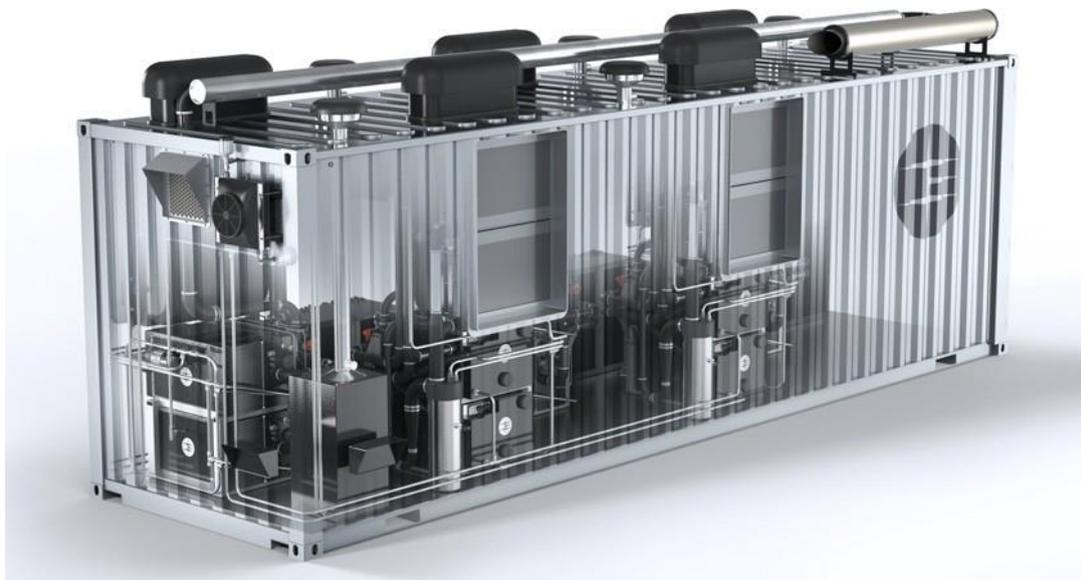


図12 IE-GRID 1MW 30 フィートコンテナタイプ

## 9. 結論

定置用電源には、拡張性、応答性、信頼性の高いエネルギー源であることが求められる。燃料電池は、こうしたニーズを満たしながら、電力分野の脱炭素化を達成する上で重要な役割を担っている。

PEM型燃料電池は、他の燃料電池と比較して、下記のような利点がある。

- コンパクトな設置面積と柔軟なモジュール性**  
 適切なユニットサイズを用いることで、特定の電力需要と燃料電池の動作周期を満たすことができ、可搬性に優れる。
- 自動車業界の大量生産から得られるスケールメリット**  
 定置電源としてのPEM型燃料電池は、自動車業界における大量生産により、製造コストの削減と品質向上という恩恵を受ける。
- 短い起動時間と応答速度**  
 燃料電池は、マイクログリッドと組み合わせ、必要に応じた運転切り替えで、信頼性の低い再生可能エネルギーを利用し、クリーンな電力を維持することができる。

構成	当社の変更箇所	熱利用	水素消費量 [kg/h]	システム効率	コスト [\$ / kWh]	
					12ドル/kg H <sub>2</sub> <small>標準的なH<sub>2</sub>コスト目標</small>	7ドル/kg H <sub>2</sub> <sup>12</sup>
IE-GRID 標準タイプ	該当なし	低温のため不可	6.5	46	0.78	0.46
IE-GRID コンデンサー除去タイプ	エキスパンダー 排気口	排気が放出されるため不可	5.9	51	0.71	0.41
IE-GRID カソード背圧タイプ	スタック後圧 液冷式熱交換器 排出口	可 80kW 95°C	6.8	78	0.46	0.27
IE-GRID 排気圧縮タイプ	コンプレッサーをスタックの後に配置 液冷式熱交換器	可 90kW 105°C	7.5	75	0.48	0.28
典型的な従来型 液体冷却式燃料電池	該当なし	低温のため利用不可	6.4	最大2% の差	0.77	0.45

表2 IE-GRID構成の概要 (100kWあたり)

<sup>12</sup> 米国エネルギー省、水素・燃料電池技術局複数年プログラム計画 (2024年)

すべての燃料電池システムは、燃料電池スタックのサイズなど、最も効率の良い運転点と構成部品の選択に見合った最適化を図ることができる。一方、当社のIE-GRID製品は、独自の排気の気化熱冷却技術で、従来の液体冷却式PEM型燃料電池とは一線を画し大きな差別化を図っている（表2に概要を記載）。

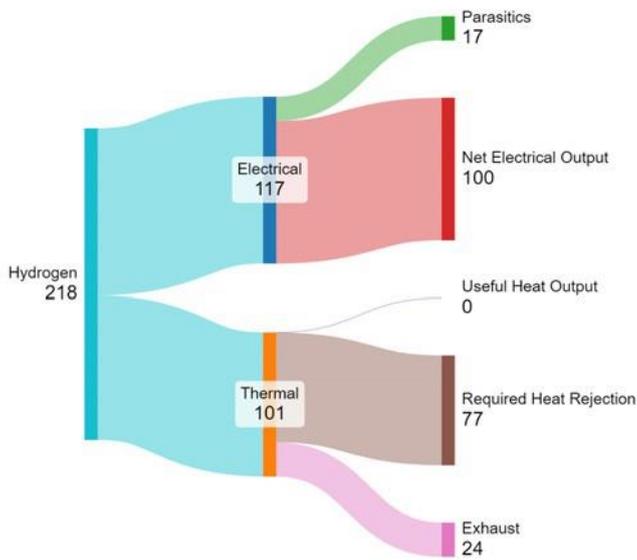
- **排熱の利用可能性を向上**

IE-GRIDは、水素を利用可能なエネルギー（電気と熱）に変換する効率を劇的に高め、より実現可能な熱電併給システムを提供する。1MWの発電機で、4kg/hの水素を追加供給することで、最大800kWの熱エネルギーを供給することができ（従来の液体冷却式燃料電池が電力供給のみを行う場合と比較）、追加燃料コスト（0.05ドル/kWhと仮定）に対し年間15万ドル節約できる。

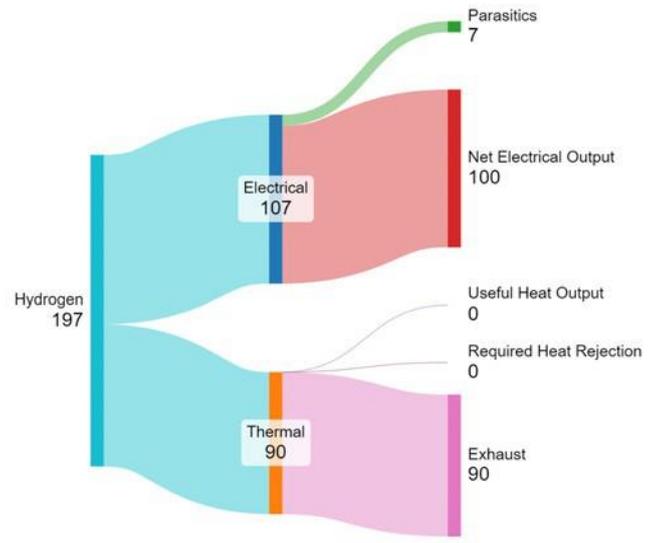
- **周囲環境に依存しない**

燃料電池の冷却液を調整する必要がないため、IE-GRIDは出力制限なしに幅広い周囲環境で使用でき、効率も大幅に改善される。1MWの発電機の場合、IE-GRIDの水素消費量は、同等の従来の液体冷却式燃料電池システムよりも5kg/h抑えられ、年間30万ドル以上が節約される。

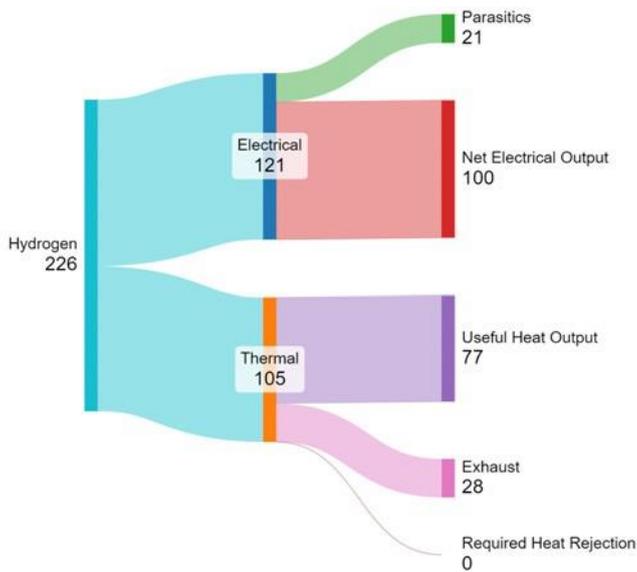
# 10. 付録



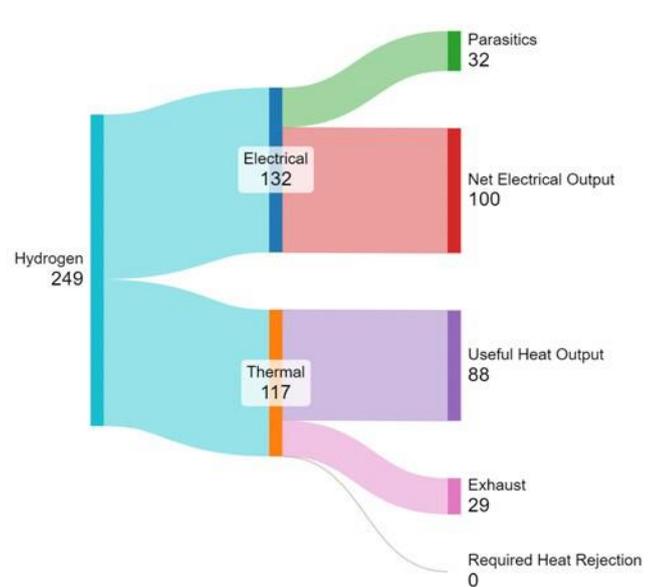
IE-GRID 標準型



IE-GRID 効率型



IE-GRID 最適型



IE-GRID 高温型

図13 エネルギー収支バランス (単位kW)



### 燃料電池スタック

水素と酸素（空気）を結合させることにより、化学エネルギーを電気エネルギーと熱エネルギーに変換する装置



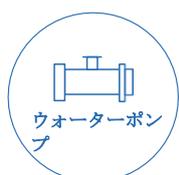
### コンプレッサー

燃料電池の化学反応に必要な酸素を、気流を生成して燃料電池スタックに供給する装置



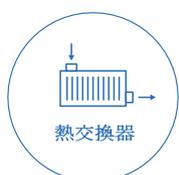
### コンプレッサー/エキスパンダー

コンプレッサー（上記）と同様、ターボチャージャーのような働きをするエキスパンダーを備え、排気ガスで駆動してエネルギーを回収する



### ウォーターポンプ

燃料電池の化学反応時の冷却のため、貯蔵タンクから燃料電池スタックへ給水する装置



### 熱交換器

燃料電池の排気に含まれる水蒸気を凝縮して液化する装置  
通常、空気流を冷却剤として使用する



### 冷却塔

上記の熱交換器と同様の役割であるが、水の蒸発を利用して冷却する



### ウォーターセパレーター

排気中の水分を回収し、水タンクに戻す装置

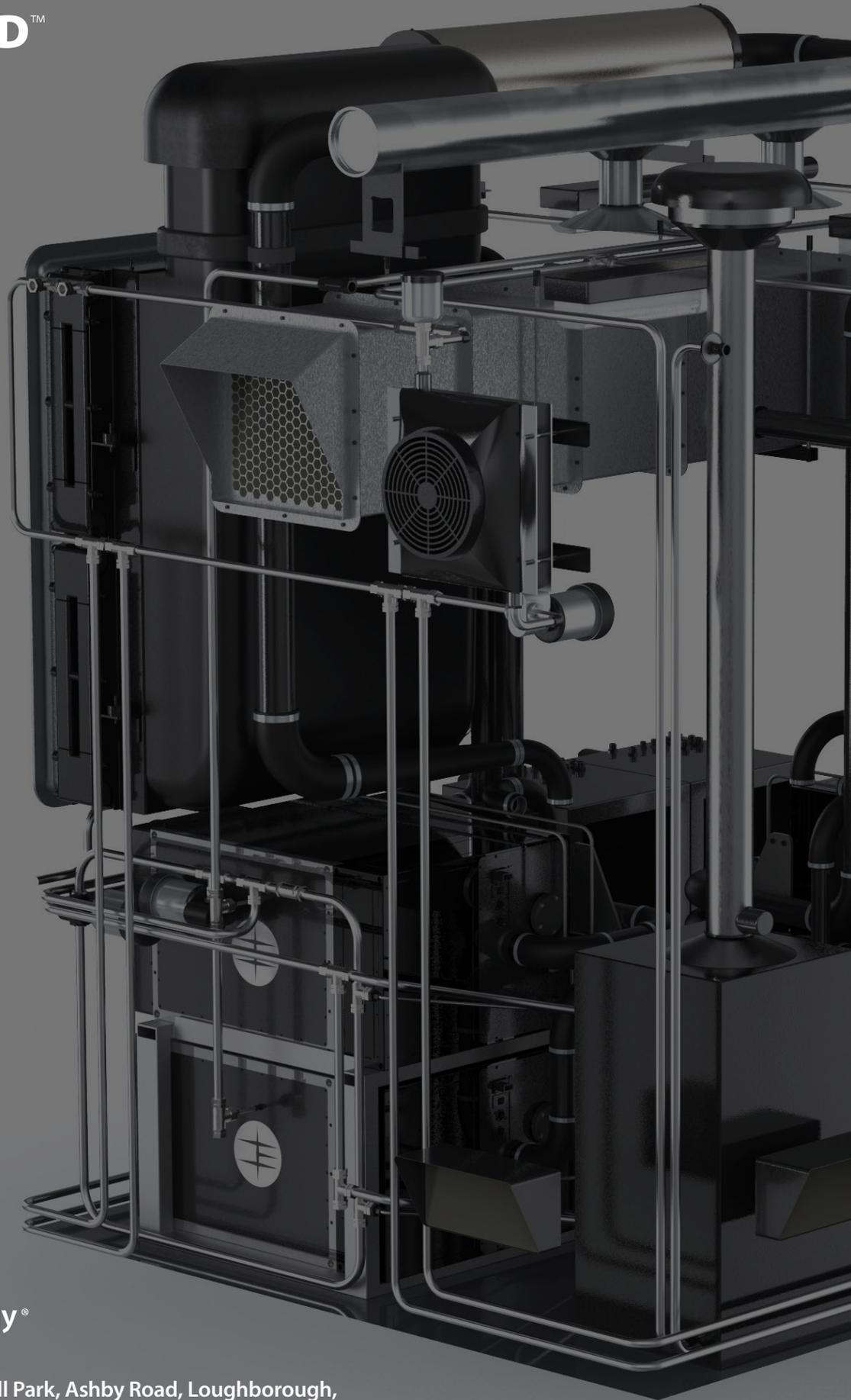


### 水タンク

燃料電池スタックを冷却する冷却水用バッファータンク



**IE-GRID™**



 **Intelligent Energy®**

Charnwood Building, Holywell Park, Ashby Road, Loughborough,  
Leicestershire, LE11 3GB, UK  
+44 (0) 1509 271 271  
[intelligent-energy.com](http://intelligent-energy.com)