

CONCEPT 03

O'CUVOID

社会の多様な電力需要,水素化に応えることができる モーターサイクル技術を応用したパッケージ型の水素発電ユニット

O'CUVOIDは、水素社会における鉄道車両や自動車、建設機械、イベント電源、災害時の非常用発電など多様な用途を想定したパッケージ型発電ユニットである。

コンパクトかつ高出力でコストパフォーマンスに優れ、カーボンニュートラルを達成できる発電ユニットを目指し、モーターサイクル用エンジンをベースに水素燃料化し、ターボチャージャーによる過給を組み合わせた。

O'CUVOIDは乾電池のように連結して使えるパッケージ型発電ユニットであることを特徴としており、必要な電力量に応じて連結台数を選択することで多様な電力需要に応え

ることができる。例えば、川崎重工が提案する未来の公共交通「ALICE SYSTEM」では、モビリティによって搭載台数を変更し、最適な電力を供給する。

また、複数ユニットを連結して運転することで、各ユニットの負荷を個別に制御して常に効率のよい負荷領域で運転することや、一部のユニットが故障しても残存ユニットで運転継続を行うダウンタイムレス運用が可能である。

さらに、水素タンクを含むストレージシステムを外部に持つ構成とすることで、ストレージシステムのレイアウトや容量選択の自由度を高めた。



HydrogenEngine

水素エンジン

ユニットの心臓部、モーターサイクル用エンジンをベースに水素燃料化することで、カーボンニュートラルを達成しながら、高いコストパフォーマンスとコンパクトな体格、高い出力特性を実現する。

Turbocharger

ターボチャージャー

排ガスのエネルギーを利用してエンジンに空気を強制的に送り込む過給機。高いエンジン出力を実現させると共に、高空気過剰率によるリーン燃焼によって窒素酸化物の排出を抑えたクリーンな燃焼を可能にする。

Radiator

ラジエーター

水素エンジンは異常燃焼防止の温度管理が重要であるため、内部を循環する冷却水の温度を調整することでエンジンを適正温度に保ち、安定した連続運転を実現する。

Intercooler

インタークーラー

ターボチャージャーで圧縮され高温になった吸入空気を冷却する。水素エンジンで課題となる異常燃焼を防ぎ、高出力運転を実現する。

O'CUVOID

HYDROGEN GENERATOR

Inverter

インバーター

発電した電力を、使用する機器が求める電圧や電流値に調整する。インバーターの仕様を変更することで、多様な電力需要に応えることができる。

Generator

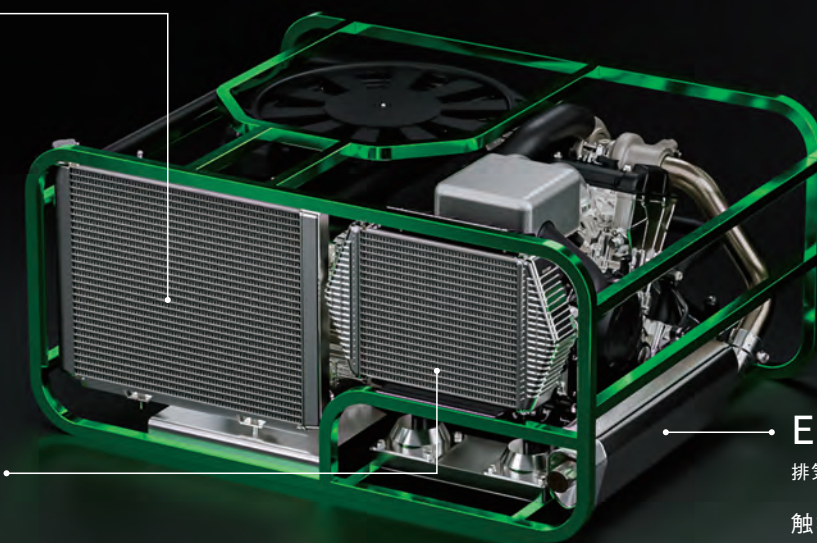
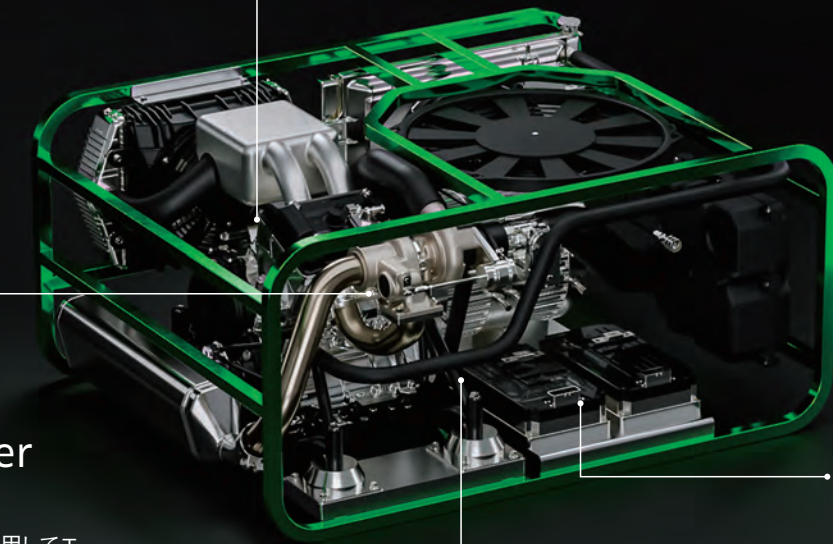
ジェネレーター

エンジンの回転運動を電力に変換する発電機。エンジン内に減速機構を持つことで最適な回転数で発電することができる。

Exhaust System

排気系

触媒を搭載することで、クリーンな排ガスを実現することができる。エンジンからの排気音を低減する消音器を備え、低騒音での発電が可能である。





はじめに

O'CUVOIDは、連結使用という新しい発想で構築された次世代のカーボンニュートラルパワーユニットである。本稿では、その基本概念とそれを支える要素技術、そして将来の応用展開について紹介する。

O'CUVOIDの基本概念と優位性

(1) 水素エンジン採用の理由

水素を利用した動力源としては燃料電池も活用されているが、O'CUVOIDでは、実用性、コスト、システムの簡素化という観点から川崎重工グループのノウハウを活用して水素エンジンを採用した。

燃料電池は単体での発電効率は水素エンジンに対して優れるが、急な負荷変動への出力追従性は低い。負荷変動に対応するためには、例えば、バッファとして大容量のバッテリーを搭載する必要がある。バッファ用バッテリーが大型化するとそれに伴ってシステムは大型化し、コストも悪化する。これに対し、内燃機関であるエンジンは出力変動に強く応答性も高いため、このバッファ用バッテリーを大幅に小型化できる。これによってシステムは軽量かつ安価になるため、多様な電力需要に対して、性能・コスト・効率の面でバランスよく応えるパワーユニットを実現できる。

公共交通機関などのモビリティに搭載する場合、従

来の燃料電池車両では、多くの部品を搭載することで重くなり、メンテナンス性も悪化するという課題を抱えていたが、O'CUVOIDのシンプルなシステム構成は、この課題に対する一つの解決策となりうる。

(2) 連結を想定したユニット設計

O'CUVOIDは1ユニットでの運転だけではなく、システム出力の増加と高効率運転を実現するための複数連結による運転が可能である。内燃機関では、回転数と負荷の範囲において燃費効率が最大化される領域が存在する。例えば、小型エンジンでは高回転高負荷時、大型エンジンではアイドルや低負荷時に燃費が悪化しやすい。

しかしO'CUVOIDは、複数搭載により要求される出力に応じて稼働させるユニット数を最適化して、ユニットあたりの燃費効率を最大化することが可能である。例えば、鉄道車両のようなシステムの最大要求出力が高い一方で、定速運転時には負荷が極端に低い場合、複数のO'CUVOIDを連結して高出力を実現。また、低負荷運転時にはすべてのユニットを平均的に稼働させるのではなく、一部のユニットのみを高効率領域で稼働させ、システム全体での高い効率を実現できる。

(3) パッケージング設計による高い汎用性

O'CUVOIDは、多様な用途での利用を想定して1ユニット内に必要な補機類を内蔵しながらもコンパクトな体格を実現した。

さらに連結可能な特徴を有することでシステム出力を自由に選択できるため、災害時や野外コンサート会場などでの小型発電機としての利用から、公共交通機関や建設機器、小型モビリティへの搭載も可能な汎用性を獲得した。これにより、例えば水素エンジンの技術を持たない建設機械メーカーが自社製品の水素動力化を図る際のパワーユニットとして組み込むなど、様々な分野に水素動力化をもたらすことができる。

このように、社会のあらゆる機器への電力供給源として、必要とする誰もが利用できることを目指したパワーユニットである。

(4) 水素タンク分離による柔軟なシステム構築

O'CUVOIDでは、水素タンクや調圧装置などのストレージシステムをユニット内に持たない構成とした。パワーユニットに求められる出力や連続運転時間はニーズによって様々であり、これによってストレージシステムに求められる要件も大きく異なる。ユニット内に水素タンクを持つような構成とすると、例えば必要出力は低いが必要な運転時間が長い場合、ストレージ容量を増やすために必要以上にユニットを連結しないといけなくなりニーズに合わせた最適設計ができなくなる。このため、ストレージシステムを分離設計として、利用者が求める連続運転時間や利用可能な水素インフラに応じて最適な種類・容量のタンクを自由に選択することを可能にした。また、パワーユニットを様々な機器に搭載する際はストレージシステムの物理的な制約が課題となることが多いが、ストレージシステムの分離設計によりレイアウトの自由度を向上させている。

O'CUVOIDを構成する要素技術

(1) 水素エンジン

ユニットの心臓部には、モーターサイクル用の650cc・二気筒エンジンをベースにターボチャージャーによる過給を組み合わせ、水素エンジン化して搭載した。モーターサイクル用エンジンはコンパクトでありながら高出力を得られる特性も持っており、さらに過給を組み合わせることで、様々な負荷変動に対応する広い運転領域を実現した。

水素は燃焼速度が速く、最小着火エネルギーが低い。そのため、高い燃焼効率と広い運転条件を実現できる特徴を持つが、このような特徴から点火前の早期着火などの異常燃焼が発生しやすい。この課題に対しては、水素ガスタービンや水素モーターサイクルエンジンなどで培った、川崎重工グループが持つ水素燃焼のノウハウを活用することができる。また、量産エンジンをベースにすることで、初期投資を最小限に抑え、優れたコストパフォーマンスを実現するモーターサイクルの生産ラインを活かした混流生産も可能で、高い生産性を実現できる。

(2) ジェネレーター（発電機）

ジェネレーターはエンジンとシャフトで接続する別体方式としており、必要な発電要件に対して自由にジェネレーターを組み合わせることができる。さらに、モーターサイクル用エンジンに搭載されているトランスミッション機構を減速装置として活用することで、ジェネレーターに最適な回転数で効率よく発電することができる。



(3) インバーター

インバーターは、その電力を接続された機器が必要とする電圧や電流値に調整する役割を担うが、ジェネレーター別体とすることで機器に応じたインバーターを選択できる構造とした。

(4) ターボチャージャー（過給機）

50kWという高い出力と優れた効率を実現するため、ターボチャージャーによる過給システムを搭載した。ターボチャージャーは、エンジンの排ガスエネルギーを回収して駆動するため、効率のよい過給が可能である。この過給システムは、燃焼制御において重要な役割を果たす。水素エンジンは運転時に二酸化炭素をほとんど排出せず、カーボンニュートラルでの発電を実現するが、理論空燃比近傍での燃焼（ストイキオメトリ燃焼）時には燃焼温度が高くなり窒素酸化物（NO_x）が生成される。これは排気管への触媒の搭載により浄化することができるが、ユニットあたりへの要求負荷が低い場合、理論空燃比に対して空気を過剰に供給し、希薄燃焼として燃焼温度を下げることで、水素燃焼時に発生するNO_xを抑制することができる。希薄燃焼時にはストイキオメトリ燃焼に対して出力が低下してしまうが、過給により出力低下を最小限にすることができる。このように、環境性能を重視した希薄燃焼と、高出力を求めるストイキオメトリ燃焼を状況やユニット仕様に応じて使い分けることにより、高い環境性能の実現と多様な負荷への要求に対応することができる。

(5) 冷却系

O'CUVOIDは様々な使用方法を想定しつつ、ラジエーターやインタークーラーなどの冷却系もパッケージングした構造となっている。冷却系はコンパクトにレイアウトしつつ、ラジエーターとインタークーラーそれぞれに冷却ファンを設け、天面にもユニット全体を冷却するファンを取り付けている。これによって、鉄道車両の床下や乗用車型小型モビリティのエンジンルーム、建設機械のエンジンルームなど多様なレイアウトへの搭載を可能にしている。

O'CUVOIDの応用展開

O'CUVOIDのユニット構造とそれを支える技術は、効率性やメンテナンス性の観点から革新的な運用を可能にする。

(1) ユニット交換によるダウンタイムレス構想

O'CUVOIDのユニット構造は、メンテナンスのあり方を大きく変え、システムのダウンタイムを最小化する「ダウンタイムレス」という概念を実現する。例えば鉄道車両をエンジン1機で運用する場合、故障が即走行不能につながり、システム全体の停止を意味していた。特に、広大な未開地を走行する海外の貨物列車などではこの問題が深刻である。

これに対し、O'CUVOIDは複数ユニットを搭載する設計を前提としているため、仮に1つのユニットが故障しても、残りの健全なユニットで運転を継続することが可能である。システムを完全に停止させることなく最寄りの拠点まで移動できるこの冗長性こそが、ダウンタイムレス構想の第一の柱となる。

そして第二の柱が、ユニット交換による迅速な復旧である。O'CUVOIDは補機類を含めたパッケージ構造であるため、不具合が発生したユニットのみを現場で迅速に交換でき、容易にシステムを正常状態に復帰させることが可能である。鉄道車両を例にすると、従来は専用の工場で専門家による大型のエンジン交換と、故障したエンジンの修理が必要であったが、O'CUVOIDはパッケージ交換であるため設備と作業者に必要な専門性を低減させることができる。さらに、モーターサイクル用エンジンをベースにしているため、サービスマニュアルを整備することで、自動車整備工場や二輪車の販売店でもメンテナンスや修理の対応が可能となる。これにより、大規模な修繕設備を持たずともメンテナンスが可能となり、より広い領域で水素パワーユニットを活用することができる。



ディーゼルエンジンからの置換えが可能な水素ready車両「GreenHICE Car」

(2) 地域鉄道向け水素車両での運用想定例

前述の冗長性やメンテナンス性は、特に公共交通機関において極めて有効である。例えば、地域鉄道向け水素車両（川崎車両ではディーゼルエンジンからの置換えが可能な水素ready車両を開発中）に1両あたり複数のユニットを搭載した場合、そのうちの1台が故障しても残りのユニットで走行を継続できるため、営業運行を止める必要がない。故障したユニットは、折り返しの終着駅などに配備した予備と交換するだけでよく、交換拠点到置かれたユニットは、非常用発電機としても兼用できる。

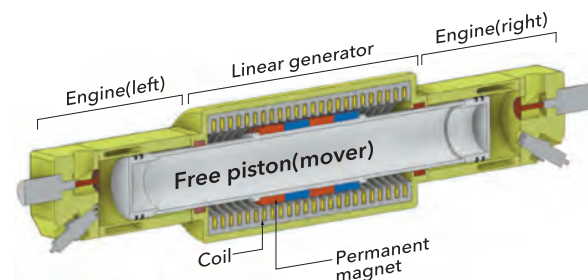
この地域鉄道向け水素車両への搭載は、電線からの電力供給がない非電化区間での自走を可能にし、60～80km/h程度で走行する動力をまかなうことを想定している。必要な出力に応じた稼働台数の制御は、車両側に搭載された統合コントロールユニットから各O'CUVOIDユニットのECUへ指示を送ることで実現される。

O'CUVOIDは補機類も含めてコンパクトにパッケージングしているため、鉄道車両の床下に複数台の搭載が可能である。床下への搭載により、低重心で安定した乗り心地を提供することができる。

応用発展

O'CUVOIDの発展的な機能として、モニタリングによるダウンタイムレス運用の高度化が考えられる。各ユニットの稼働時間や運転状態、部品の交換歴などをリアルタイムでモニタリングすることで、いつ、どこでユニットを交換するのが最も効率的かを判断する高度なマネジメントシステムを構築すれば、より効率的なダウンタイムレス運用が可能である。

また、O'CUVOIDの連結使用を活かしながら、さらに小型・軽量化と高効率運転を進める場合、フリーピストン水素エンジン発電機の採用も考えられる。フリーピストンエ



フリーピストンエンジン発電機の例

ンジン発電機は、ピストンの直線運動をリニア発電機によって直接電力に変換する発電システムである。クランク機構を省略することで機械的摩擦が低減されるほか、発電量に応じて圧縮比を柔軟に最適化できるため、高効率な運転が可能となる。また、構成部品が少なくなることで、さらなる小型・軽量化を図ることができる。

あとがき

O'CUVOIDは、実績のある量産型モーターサイクルエンジンを核として、汎用性、コストパフォーマンス、そして拡張性を追求しつつ、パッケージング思想に基づき設計した。特にユニット連結によって多様な用途に活用できる柔軟性や、ユニット交換によるメンテナンスの容易性は、水素エネルギー導入の障壁となる専門性やコストを大きく引き下げる可能性を秘めている。社会の多様な電力需要に応えるO'CUVOIDは、川崎重工グループの目指す水素社会の実現に向けた「つくる」「はこぶ」「ためる」「つかう」を一気通貫したサプライチェーンの中で、「つかう」ための現実的な一歩を示すソリューションである。

PROFILE



カワサキモータース株式会社
航空システム総括部
航空システム開発部
CN・先進技術開発課 主事

和泉 恭平



コーポレートコミュニケーション総括部
大阪・関西万博推進課(兼)
コーポレートコミュニケーション総括部
PR部ブランド課 基幹職

天辰 祐介



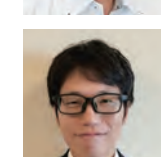
川崎車両株式会社
技術本部 技術戦略部
技術管理課 基幹職

三谷 雄一郎



川崎車両株式会社
技術本部 技術戦略部 基幹職

加藤 英一



技術開発本部 技術研究所
機械システム研究部
研究一課 主事

小松 賢司