

本排水処理技術における開発課題は、炭種の変化による含有不純物量の変化と、発電出力の変動による不純物量の変化に伴う、排水処理設備の負荷変化に対応しつつ、日本で最も厳しい排水基準が要求される瀬戸内海水域の適合水準まで確実に処理できる最適な排水処理システムを確立することである。

本技術の確立により、沿岸立地が可能となり、IGCC を世界に普及させる際のハードルを引き下げることができる。

③第1段階から第3段階まで一貫して実施する場合には、ガスタービン、蒸気タービン、燃料電池の入口、出口の温度、圧力など発電システムとしてのサイクル効率を計算できる情報を示していただきたい。この情報に基づけば、第1段階及び第2段階のみの場合と比較して、第3段階まで含めた場合のガスタービン、蒸気タービンなどの温度、圧力条件が大きく変化すると考えられる。第1段階、第2段階と第3段階は全く異なる技術システムになるのではないか。この点を上記の定量的な情報に基づき示した上で、次の質問④に答えていただきたい。

(答)

CO₂回収型IGFC発電システムは、想定しうるコンセプトが理想的なものから現実的なものまで多くのバリエーションがある。いくつかのバリエーションについて、p.13「(財)電力中央研究所によるIGFCシステム検討結果概要」に示した。

本実証試験の第3段階については、早期に実現可能なIGFC発電システムについて検討を実施し、この発電システムの実現に必要な実証試験を行うことを考えているため、第1段階及び第2段階にて設置した設備、運転条件を大幅に変更することは現時点で考えていない。石炭ガス化ガスを燃料電池へ適用するにあたり克服すべき技術課題は多く、第3段階はこれらの課題に対する見通しをつけ、IGFC発電システムの実現可能性を示すことが主な目的であると考えている。

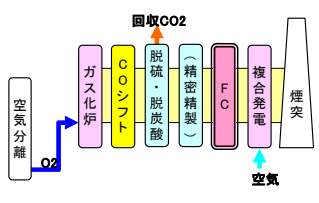
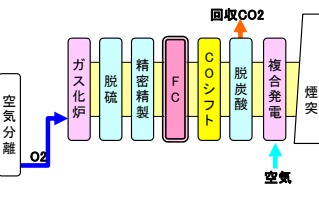
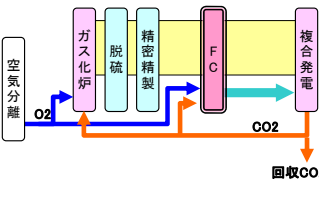
克服すべき技術課題としては、石炭ガス化ガス中に含まれる不純物である微量成分を精密に除去すること、燃料配管や燃料電池の電極への炭素析出を防止し得る運転条件を見出すこと等が挙げられるが、第3段階ではこれらの技術課題に対しより詳細に検討を行ったうえで実証試験に移行する計画である。

参考として以下に第1段階のサイクル効率に係る情報及びIGFCのシステム構成に係る検討事例として(財)電力中央研究所による検討結果の概要を示す。

第1段階のサイクル効率に係る情報

1. プラント入熱: 345MW(HHV)
2. ガス化炉: 冷ガス効率: 82%
3. ガスタービン: 1,300°C級 中容量(100MW級)ガスタービン
4. 蒸気タービン: 再熱復圧式
主蒸気圧力/主蒸気温度: 10.0MPa/510°C
再熱蒸気圧力/再熱蒸気温度: 2.1MPa/510°C
復水器真空度: 722mmHg
5. 発電端出力/効率: 166MW/48.0%(HHV)
6. 送電端出力/効率: 140MW/40.5%(HHV)

(財)電力中央研究所による IGFC システム検討結果 概要

	CO2 回収率	システムフロー	送電端効率 (HHV)	開発 難易度	特徴
ケース0 IGFC	0% (CO2 回収無)		高 (55%)	難	<ul style="list-style-type: none"> 燃料電池(FC)にSOFCを適用しCO2分離回収を行わない場合、送電端効率は55%(HHV)以上が達成可能。 【検討課題】 石炭ガス中のFC被毒成分に係る検討。(IGCC実証機の精製ガス性状を評価) 被毒成分を除去する最適なガス精密精製システムに係る検討。 燃料ガス系統における炭素析出防止対策に係る検討。
ケース1 IGFC+CO2回収 【FC前回収】	90%		中 (45%)	もつとも 易	<ul style="list-style-type: none"> 燃料が水素ベースとなることで多様なFCに対応可能。 発電効率はやや低い。 燃料ガス系統における炭素析出リスクが極めて低い。 【検討課題】 石炭ガス中のFC被毒成分に係る検討。(IGCC実証機+CO2分離回収の精製ガス性状を評価) 被毒成分を除去する最適なガス精密精製システムに係る検討。 ※「ケース0」「ケース2」「ケース3」と異なりCO2分離回収後の精製ガスをFCへ導入するためFC被毒リスクは小さいと考えられる。従って燃料電池の耐性やCO2分離回収後精製ガス性状によっては精密精製工程が省略出来る可能性がある。
ケース2 IGFC+CO2回収 【FC後回収】	90%		中 (50%)	難	<ul style="list-style-type: none"> 高温で動作するFCの前・後に常温で操作するガス精製(脱硫他・CO2分離を行うため熱回収システムが複雑となる。 FCで生成する水をCOシフト用蒸気として用いることが可能であり、COシフト蒸気の添加が不要となるため発電効率は高い。 【検討課題】 石炭ガス中のFC被毒成分に係る検討。(IGCC実証機の精製ガス性状を評価) 被毒成分を除去する最適なガス精密精製システムに係る検討。 燃料ガス系統における炭素析出防止対策に係る検討。
ケース3 IGFC+CO2回収 【CO2循環システム】	100%		高 (53%)	もつとも 難	<ul style="list-style-type: none"> CO2を用いガス化炉の微粉炭搬送を行うことでCO、CO2、H2を主体とするガスを発生、FC、クローズドCO2ガスタービンにて酸素燃焼させることでCO2、H2Oを主体とする排気ガスを生成。 クローズドCO2ガスタービンの排気ガス(CO2、H2O)を冷却することでCO2分離を行うためCOシフト工程が不要。 FC、酸素燃焼GT用酸素を発生するため空気分離所要動力は増加するものの、ガスタービンのクローズド化により効率が向上する他、COシフト蒸気が不要となるためCO2分離を行うIGFC発電システムとしては最も高い発電効率が期待出来る。 【検討課題】 クローズドCO2ガスタービンの新規開発が必要。 石炭ガス中のFC被毒成分に係る検討。(IGCC実証機の精製ガス性状を評価) 被毒成分を除去する最適なガス精密精製システムに係る検討。 燃料ガス系統における炭素析出防止対策に係る検討。

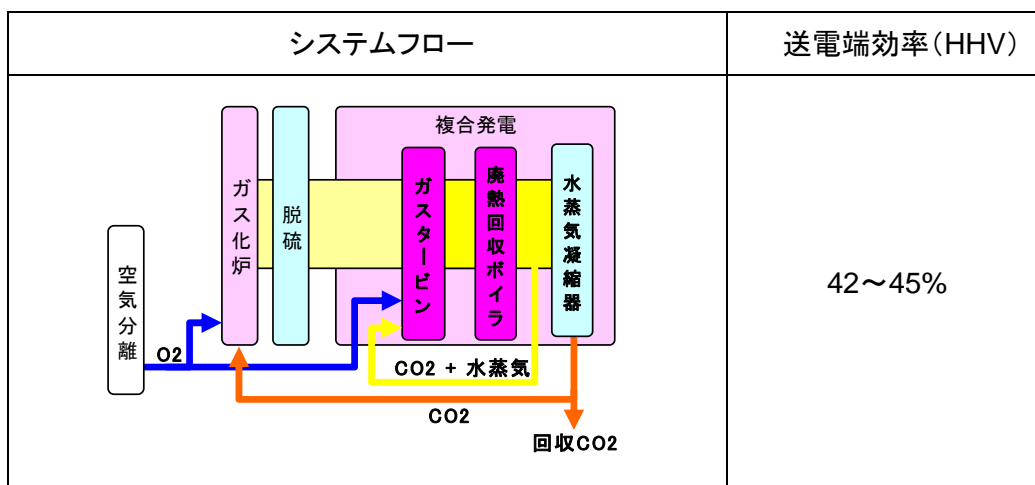
出典:「CO2回収付き石炭ガス化燃料電池複合発電システムの熱効率検討」平成23年3月 (財)電力中央研究所

④③への回答で示される情報に基づき、燃料電池を含む第3段階のシステムが、他の有力な発電システムより高性能であることを示して頂きたい。例えば、酸素吹きガス化を用いて、その後にシフト反応で水素リッチな燃料ガスを製造し、CO₂を回収するシステムであれば、その燃料ガスに純酸素燃焼を用いることにより、ガスタービンの入り口温度を上げて高効率にすることが可能である。(もし、ガスタービン入口温度が高すぎる場合は、回収したCO₂や水蒸気を混合することにより温度制御も可能である。)このようなガスタービンを用いたコンバインドサイクルであれば、CCSと高効率を同時に達成できるはずである。このようなシステムと比べても、今回提案されている燃料電池システムは有利であるといえるのか。発電効率の比較により、示していただきたい。

(答)

(財)電力中央研究所が調査研究を行っている酸素燃焼ガスタービンを用いた高効率コンバインド発電システムについて、以下に記載する。

ご指摘の純酸素を用いたコンバインドガスタービンシステムは下記のIGCC発電システムと考える。



当該IGCC発電システムは、CO₂石炭搬送・酸素吹ガス化炉と酸素燃焼クローズドガスタービンを組み合わせたシステムである。このシステムではCO₂を回収した上で送電端効率42～45%を達成するIGCC発電システムであると試算されている。しかしながら、酸素燃焼ガスタービンの開発は諸についたばかりであり、今後の技術開発の進展が待たれるものである。

p.13 ケース3のIGFC発電システムは、上記IGCC発電システムに燃料電池を組み合わせたIGFC発電システムであり、送電端効率は53%と試算され、最も高い送電端効率を達成すると見込まれている。しかし、このケース3のIGFC発電システムには、ガス化炉と燃料電

池との間に不純物を除去する機能も有する CO2 回収装置が存在しないため石炭ガス化ガス中の不純物濃度が高く、燃料電池へ適用させるためにはこの不純物を精密に除去する高度ガス精製技術を開発する必要がある。

一方、大崎クールジェン PJ の第 3 段階では、p.13 ケース 1 の IGFC 発電システムの採用を考えている。このケース 1 の IGFC 発電システムと上記 IGCC 発電システムはほぼ同等の送電端効率であった。大崎クールジェン PJ では、第 2 段階で CO2 分離・回収設備が追設されることから、石炭ガス化ガスから製造された水素リッチガスを利用可能であり、この水素リッチガスは不純物による被毒リスク及び炭素析出リスクが少なくなると予想されることから、燃料電池への対応が比較的容易であり、早期にシステム化が可能であると考えられる。

なお、酸素燃焼ガスタービンと燃料電池、高度ガス精製技術が開発されれば、それらを組み合わせたケース 3 の IGFC 発電システムを構築でき、CO2 を回収しつつ飛躍的な発電効率向上が期待できることになる。

⑤(第3段階まで移行するかどうかは別として)第1段階及び第2段階までのプロセスにおいて、本事業を実施する意義及び有効性について具体的に説明していただきたい。

(答)

石炭処理量150t/日のEAGLEパイロット試験では、ガス化効率(冷ガス効率)の高さ、炭種適合範囲の広さ、高度排水処理技術の確立という優位性が検証されている。商用機の1/3の規模に相当する1,100t/日にスケールアップした第1段階の実証試験において、これらの優位性が確認できれば、商用機規模にスケールアップした場合もこれらの優位性を継承できるため、我が国独自の競争力のある酸素吹ガス化技術の商用化の見通しを得ることができる。

第2段階は、第1段階の酸素吹IGCCに、EAGLEパイロットプラントで実施しているCO₂分離回収試験の成果を反映したCO₂分離回収設備を追設する。この実証試験を通して、酸素吹IGCCにCO₂分離回収技術を組み合わせたシステムの運用技術を確立する。これにより、CO₂分離回収型IGCCの実用化に目途が立ち、国が主導して実施するCO₂輸送・貯留技術と組み合わせることで、ゼロエミッション石炭火力が実現できる。

⑥高温作動である固体酸化物形燃料電池を利用するのであれば、一酸化炭素も燃料として利用できるので、水素リッチガスに転換するプロセスは不要と考えられる。本事業では CCS が加わっているため、その過程で水素リッチガスが製造されるが、石炭ガス化ガスを直接燃料電池に投入することは想定されていないのか、この点についても説明していただきたい。

(答)

石炭ガス化ガスを直接燃料電池に導入する IGFC システムは p.13 のケース 3 であり、このシステムは p.13 の IGFC システム検討結果概要の開発難易度を示す通り、石炭ガス化ガス中の被毒成分を除去する高度ガス精製、炭素析出防止対策等、技術難易度が高い。

大崎クールジェン PJ で想定している IGFC システムは、p.13 のケース 1 の CO₂ 分離回収後のガスを燃料電池に導入するシステムである。第 2 段階で CO₂ 分離・回収設備が追設されることから、水素リッチガスを利用することが可能であり、この水素リッチガスは CO シフト工程、CO₂ 分離回収工程で不純物が除去されると予想されることから燃料電池の被毒リスクと炭素析出リスクの軽減が期待でき、最も容易で早期に実現可能な IGFC システムと考えている。

SOFC の技術開発は、NEDO のロードマップに沿って、別途進められている。

⑦第3段階の燃料電池の出力はいくらを予定しているのか説明していただきたい。
〔燃料電池の出力は原理的には面積に比例すると考えられるので、もし大型機を予定しているのであれば、1年間での実証(連続運転)は相当困難と思われる。〕

(答)

発電プラントとしての運用特性を検証する必要があることから、発電出力の10%(17MW)程度が理想的と考えるが、燃料電池の開発動向や立地条件(設置スペース)を踏まえ、システム構成等を第3段階の事業移行段階までに検討する。

⑧大規模発電用 FC の開発状況とその原料ガスについて説明いただきたい。

(答)

大規模発電用の FC としては、固体酸化形燃料電池 (SOFC) と熔融炭酸塩形 (MCFC) の 2 種類がある。(原料ガスは双方とも CO、H₂)

MCFCは、過去、IHIなどの熔融炭酸塩型燃料電池発電システム技術研究組合 (MCFC研究組合) がNEDO事業として研究開発を実施し、中小規模の段階で終了している。それ以降の大型化はほとんど進んでいない状況。

他方、SOFC については、現在、NEDO 事業として以下の研究開発が進められている。

①中容量システムの状況

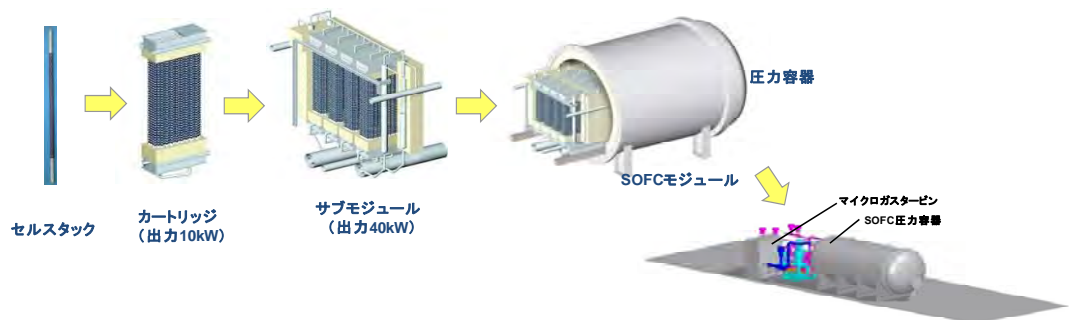
NEDO「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」(平成 20～24 年度)において、三菱重工が都市ガス仕様の 250kW 級ハイブリッドシステム (SOFC とマイクロガスタービンの複合システム) の開発を進めている。

このシステムには円筒形 SOFC が適用されている。円筒形 SOFC は、セル出力密度の向上とセル本数の増加によって大容量化に対応可能であり、また円筒形 SOFC は構造が堅牢であり、平板形 SOFC における大型化・大面積化に起因した熱応力による損傷・割れの問題を回避できる。

このシステムについては、平成 21 年に実施した運転試験で出力 230kW、発電効率 52.1%LHV を確認するとともに、3,224 時間の連続運転で経時性能劣化が無いことを確認している。引き続き、高圧運転対応・コンパクト化を図った密充填構造カートリッジ (スタック集合体) を発電試験に供し、その構造健全性や耐圧性等を確認済みであり、複合発電システムとしての起動・定常運転・緊急停止時の保護インターロックの検証も済んでいる。

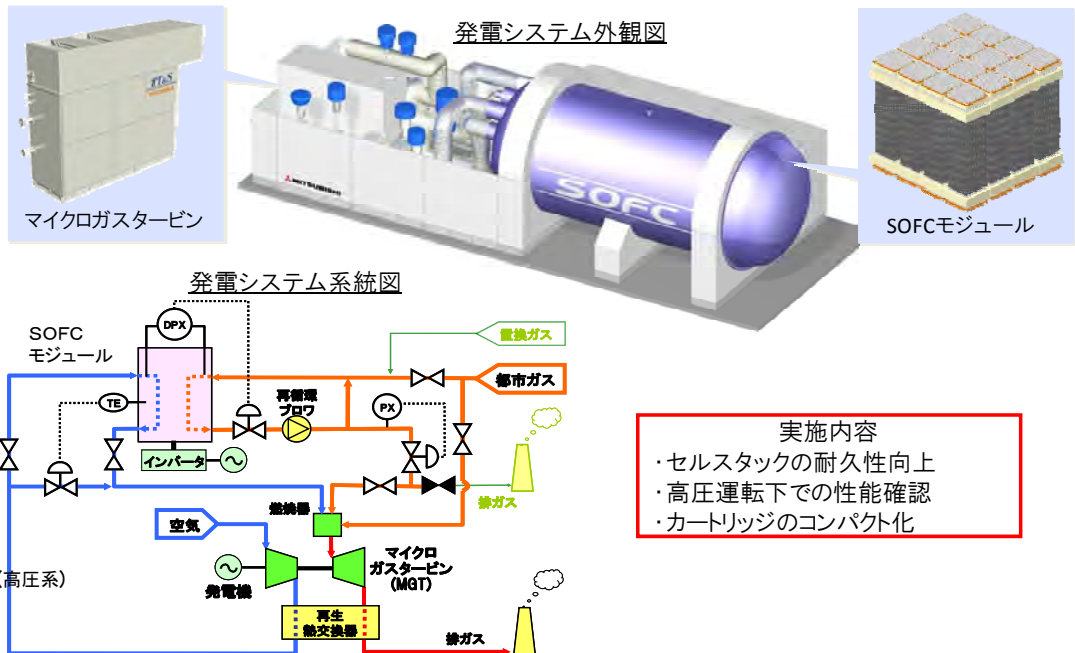
現在は、平成 24 年下半期に開始予定のフィールド試験に向けて実証機を製作中である。

250kW級SOFCハイブリッドシステム (三菱重工業)



出典: 三菱重工業(株)提供資料

2012年度下半期より、フィールドテストを開始する予定。



システム設計仕様

項目	仕様
構成	SOFC-MGT 複合発電システム
発電容量	250kW級(送電端)
発電効率	55%,LHV以上(送電端)
設置面積	70m ² =14m×5m

想定市場

- 1台～複数台設置により
- ・大型商業施設
- ・ホテル、病院等
- ・中規模工場(食品、酒造等)

※燃料:都市ガス

出典:三菱重工業(株)提供資料

②大容量システムの状況

SOFC、ガスタービン、蒸気タービンを組み合わせたトリプルコンバインドシステムの実用化に向けた取り組みとして、平成24年度よりNEDO事業として「固体酸化物形燃料電池システムを用いた産業用発電プラント研究開発」を開始する予定であり、現在、予算要求中である。

本事業では、上記①に示した250kW級ハイブリッドシステムの技術を発展させた液化天然ガス仕様の40～90MW級のトリプルコンバインドシステムを想定し、30MW級ガスタービン運転圧力(0.9～2MPa程度)におけるSOFCの特性把握、30MW級ガスタービンと

の連携運転技術等の検証を行う予定であり、平成 26 年には要素技術が確立する見込みである。

SOFC 大容量化に向けた課題と対策

課題	内容	対策の方針
大型化	<ul style="list-style-type: none"> 大きな電気出力を得るために単純にセルスタックの大型化(セル面積・積層数)を行うと、構造強度やガス分配・電流分布・温度分布の不均一化等の問題が生じる。 	<ul style="list-style-type: none"> 構造的に堅牢な円筒形セルスタックを適用する。 セルスタックを大型化するのではなく、セル出力を向上させることにより(高出力化)、大型化に対応する。 カートリッジを大型化することなく、束ねるセルスタック本数を増加させ、コンパクト化を図る。
高圧化	<ul style="list-style-type: none"> ガスタービンとの組合せでは、タービン入口圧は高圧であることが必要なので、SOFC も高圧運転が要求される(大型ガスタービンの場合:約 2.0MPa)。このため、高圧運転における性能検証や差圧に対する耐久性を求められる。 	<ul style="list-style-type: none"> 常圧~0.3MPa までの性能確認や差圧に対する耐久性は確認済み。今後、2.0MPa までの性能確認を行う予定である。 ガスタービンとの連携運転技術については、250kW システムで構築したものを応用可能。
信頼性向上	<ul style="list-style-type: none"> 大型発電システムでは、長時間の温度サイクル耐性、酸化還元耐性、経時劣化の抑制を改善する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 円筒形セルスタックは、軸対称構造にて温度サイクル耐性が高い。 酸化還元耐性は、インタコネクタ緻密化等による対策を実施済み。 経過劣化の抑制は、空気極の構造改善による対策を実施済み。⇒ 電圧低下率 0.13% /1000hr(約 9 年の耐久性)を確認済み。
大量生産技術	<ul style="list-style-type: none"> 大型発電システムになれば、低コストなセルスタックを量産できる必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 円筒形セルは従来のセラミックス生産技術の適用が可能で、他形状のセルに比べて大量生産に適している。 セルの低コスト生産技術の開発には既に着手済み。

③石炭ガス化ガスへの対応状況

NEDO「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」(平成 20~24 年度)において、「石炭ガス化ガス中の微量成分の影響に関する調査研究」(委託先:岐阜大学、名古屋大学、産業技術総合研究所)が実施されている。