

第十二届中日节能环保综合论坛
第12回日中省エネルギー・環境総合フォーラム

中国整体煤气化燃料电池（IGFC）发电技术进展

中国における石炭ガス化燃料電池

複合発電(IGFC)技術の進展

许世森

中国华能集团清洁能源技术研究院

許世森

中国華能グループクリーンエネルギー技術研究院

2018年11月25日

主要内容 主要内容

❖ 背景

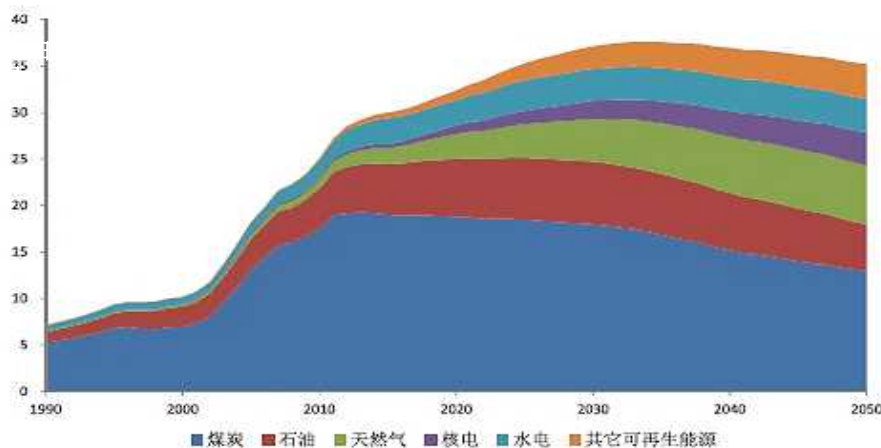
❖ 中国IGFC研究进展
中国におけるIGFC研究の進展

❖ 结语
まとめ

背景

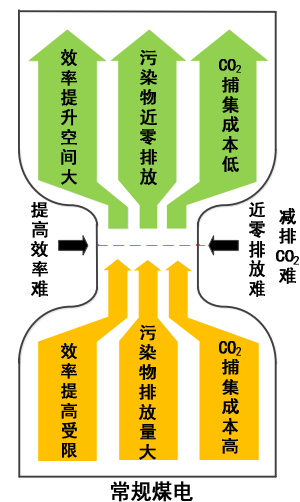
□ 煤电在我国能源结构中的基础地位在相当长时期内不会改变，现有煤电技术面临着**提高效率难、近零排放难、减排CO₂难**的瓶颈，IGFC发电技术能够突破这三大瓶颈。

今後長期間にわたり、中国のエネルギー構造における石炭発電の基礎的地位は変わらないものである。現在石炭発電技術が**能率の向上難、ほぼゼロの排出難、CO₂の排出削減難**というボトルネックに直面し、IGFC発電技術はそれらの難関を突破できる



【资料来源：《2050年世界与中国能源展望》，中石油经济技术研究院，2016年7月】
『2050年世界と中国のエネルギーに対する展望』より。中石油経済技術研究院。2016年7月

煤气化发电技术
石炭ガス化発電技術



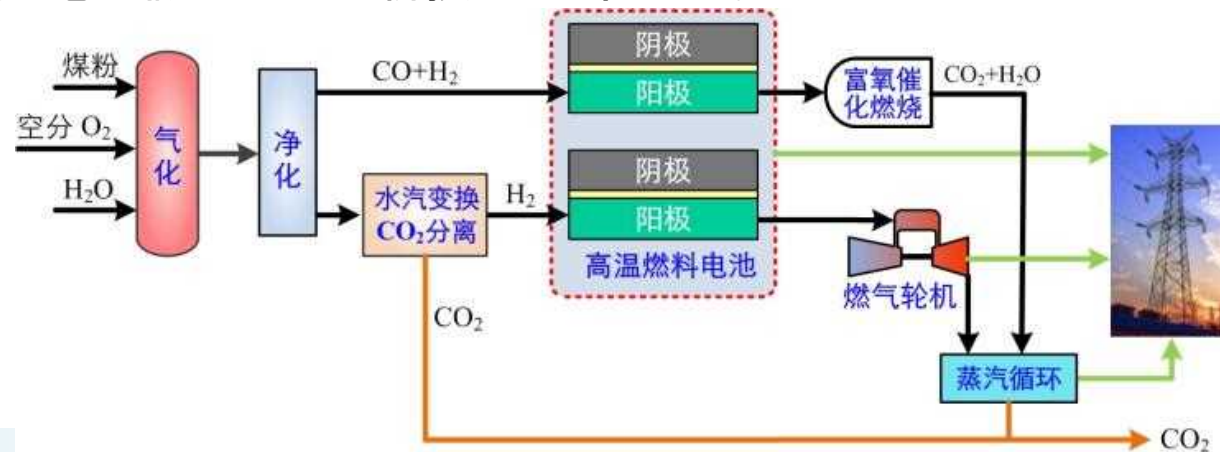
整体煤气化燃料电池发电IGFC (Integrated Gasification Fuel Cell)

石炭ガス化燃料電池複合発電

- 整体煤气化联合循环 (IGCC) 是目前已被验证的能够大型化的煤气化发电技术, 可以实现污染物的近零排放

石炭ガス化複合発電(IGCC)は現在実証された大型化できる石炭ガス化発電技術であり、汚染物の排出をゼロ近くまで抑えられる

- IGFC是将IGCC与高温燃料电池相结合的发电系统, 可大幅提高煤气化发电效率, 降低CO₂捕集成本, 实现CO₂及污染物近零排放, 是煤炭发电的根本性变革技术
IGFCはIGCCと高温燃料電池と組み合わせた発電システムである。石炭ガス化発電の効率を大幅に向上し、CO₂の回収コストを抑え、CO₂や汚染物のほぼゼロの排出を実現することで、石炭発電の徹底的な革新技術とも言える。

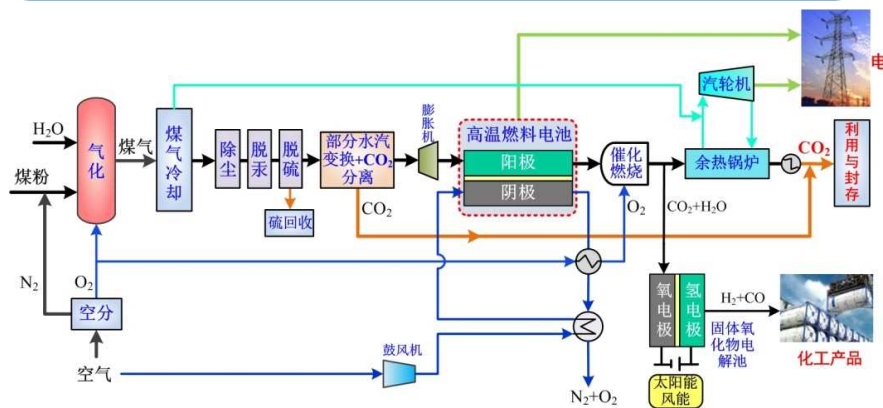


IGFC是化石燃料发电效率提升的有效途径

IGFCは化石燃料発電の効率を向上する有効方法

电化学发电：通过电化学反应直接将燃料的化学能转化为电能，突破卡诺循环效率限制

電気化学発電：電気化学反応によって、燃料の化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換し、カルノーサイクルの効率制限を突破する

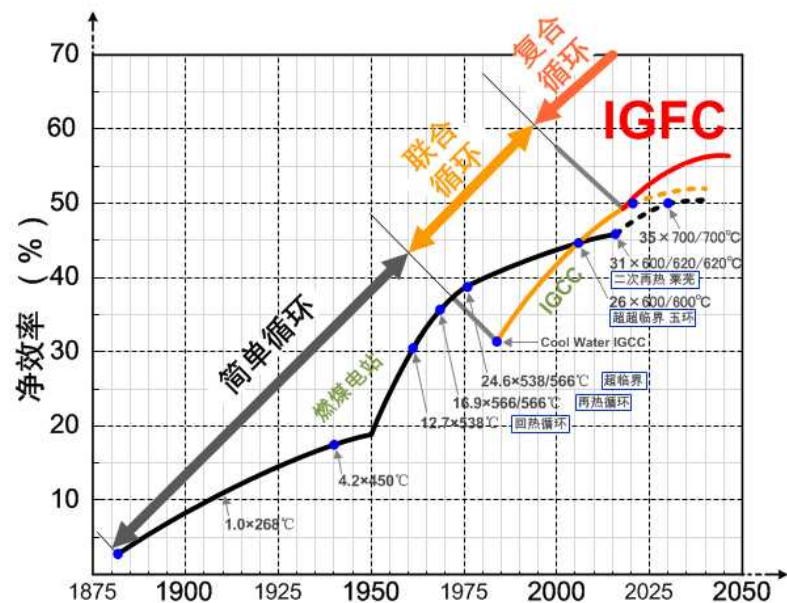


热力循环发电：利用煤气化、燃料电池以及催化燃烧产生的高温余热进行发电，实现能量的梯级利用

熱力循環発電：石炭ガス化、燃料電池及び触媒燃焼による高温を生かし、発電する。エネルギーの再利用を実現する

IGFC 实现煤基发电由单纯热力循环发电向**电化学**和**热力循环复合发电**的技术跨越，大幅提高煤电效率

IGFCによって、石炭発電における単純な熱力循環発電を**電気化学・熱力循環複合発電**という技術に発展させ、大幅に石炭発電の効率を向上する

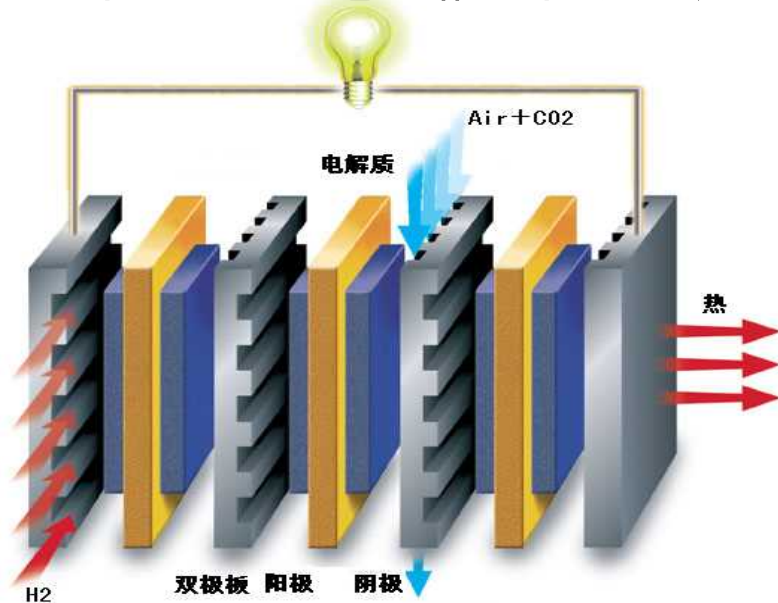


IGFC可实现CO₂的低成本富集

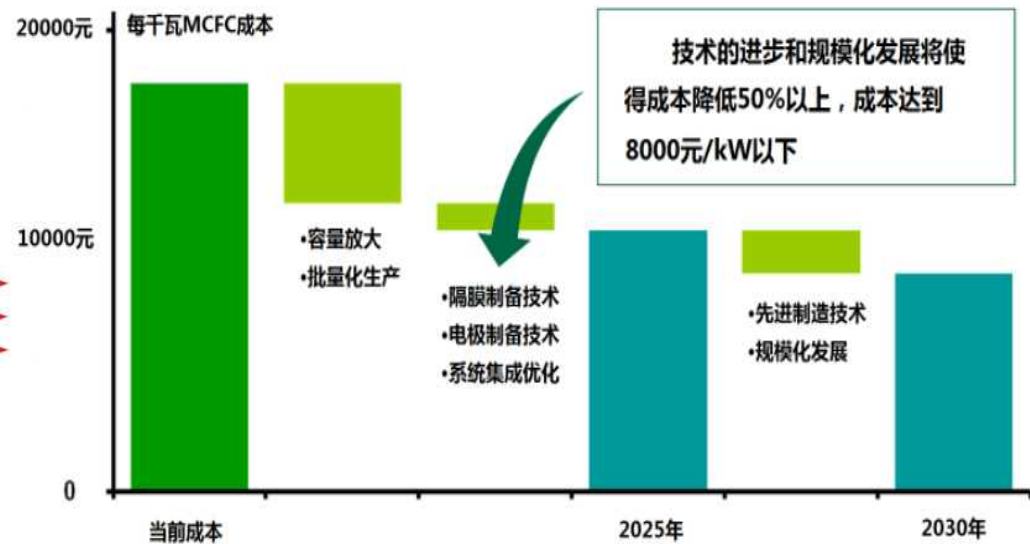
IGFCはCO₂の低コストでの回収・貯留を実現

- IGFC可实现燃料电池内CO₂富集和污染物控制，大大降低CO₂的捕集成本，NO_x和SO_x达到近零排放

IGFCは燃料電池内部におけるCO₂の回収と汚染物の抑制を実現し、CO₂の回収コストを大幅に低減し、NO_xとSO_xをほぼゼロで排出



MCFC的CO₂富集原理
MCFCのCO₂分離回収原理



IGFC的成本降低趋势
IGFCのコスト低減トレンド

国家科技计划 国家の科学技術計画

□ 已承担的国家科技项目：

- ✓ 国家科技部重点研发计划“CO₂近零排放的煤气化发电技术”
- ✓ 国家能源局项目“整体煤气化燃料电池发电系统研制及示范”
- ✓ 中国华能集团近零排放电站的“绿色煤电专项”研究
- ✓ 国家“973计划”项目“先进发电系统中关键材料行为机理研究”
- ✓ 国家“863计划”项目“5kW级平板固体氧化物燃料电池技术”

引き受けた国家科学技術項目：

- ✓ 中国科学技術部の重点研究・開発計画：「CO₂ほぼゼロ排出の石炭ガス化発電技術」
- ✓ 中国能源局のプロジェクト：「石炭ガス化燃料電池複合発電システムの研究と範例」
- ✓ 中国華能グループのほぼゼロ排出発電所の「グリーン石炭発電」研究
- ✓ 中国「973計画」プロジェクト：「先端的発電システムにおける重要材料の動作原理研究」
- ✓ 中国「863計画」プロジェクト：「5kW級パネルの固体酸化物燃料電池技術」

□ 《“十三五”国家科技创新规划》和《能源技术革命创新行动计划（2016-2030年）》等重要文件将IGCC/IGFC作为重要内容和发展目标

『「第13次5カ年計画」国家科学技術革新企画』及び『エネルギー技術革命・革新行動計画(2016年—2030年)』などの重要文書では、IGCC/IGFCを重要内容と発展目標として定めた

□ 国家面向2030年重大科技项目，明确开展IGFC发电技术研发与示范，2020年，百千瓦级燃料电池关键技术开发和示范；2025年，5MW及IGFC示范；2030年，50MW级IGFC示范，经效率大于52%

2030年重大な科学技術項目に向け、中国はIGFC発電技術の研究開発と試行的実行を明確に。2020年に100kW級燃料電池のキー・テクノロジー開発と試行的実行を実現。2025年に5MW級IGFCの思想的実行を実現。2030年に50MW級のIGFCの試行的実行を実現、効率を52%以上引き上げる。

中国华能集团“绿色煤电计划”

中国華能グループ「グリーン石炭発電計画」

◆ **已完成** 完成済み

◆ **正在进行** 進行中

◆ **计划进行** 計画進行

IGCC电站阶段

IGCC発電ステーション段階

- ◆ 自主创新的2000t/d气化炉
- ◆ 25万千瓦IGCC煤电化多联产
- ◆ 绿色煤电技术实验室建设
- ◆ 自主革新した2000t/dガス化炉
- ◆ 25万kW級IGCC石炭電氣化多連合生産
- ◆ グリーン石炭発電技術実験室を創立

第一阶段 第一の段階
(2004-2011)

IGCC煤电化多联产技术完善 绿色煤电关键技术研发阶段

IGCC石炭電氣化の多連合生産技術を整備し、グリーン石炭発電のキー・テクノロジーを研究開発する段階

- ◆ IGCC煤电化多联产技术完善
- ◆ 从技术和经济上验证气化炉放大到3500t/d
- ◆ 制氢技术研发
- ◆ 燃料电池发电技术研发
- ◆ CO₂捕集技术研发与示范
- ◆ 绿色煤电示范工程前期准备
- ◆ IGCC石炭発電多連合生産技術の完備
- ◆ 技術面と經濟面からガス化炉を3500t/dまで拡大を検証
- ◆ 水素生産技術の研究開発
- ◆ 燃料電池発電技術の研究開発
- ◆ CO₂回収技術の研究開発と試行的実行
- ◆ グリーン石炭発電実証試験の前期準備

第二阶段 第二の段階
(2012-2016)

绿色煤电示范工程实施阶段

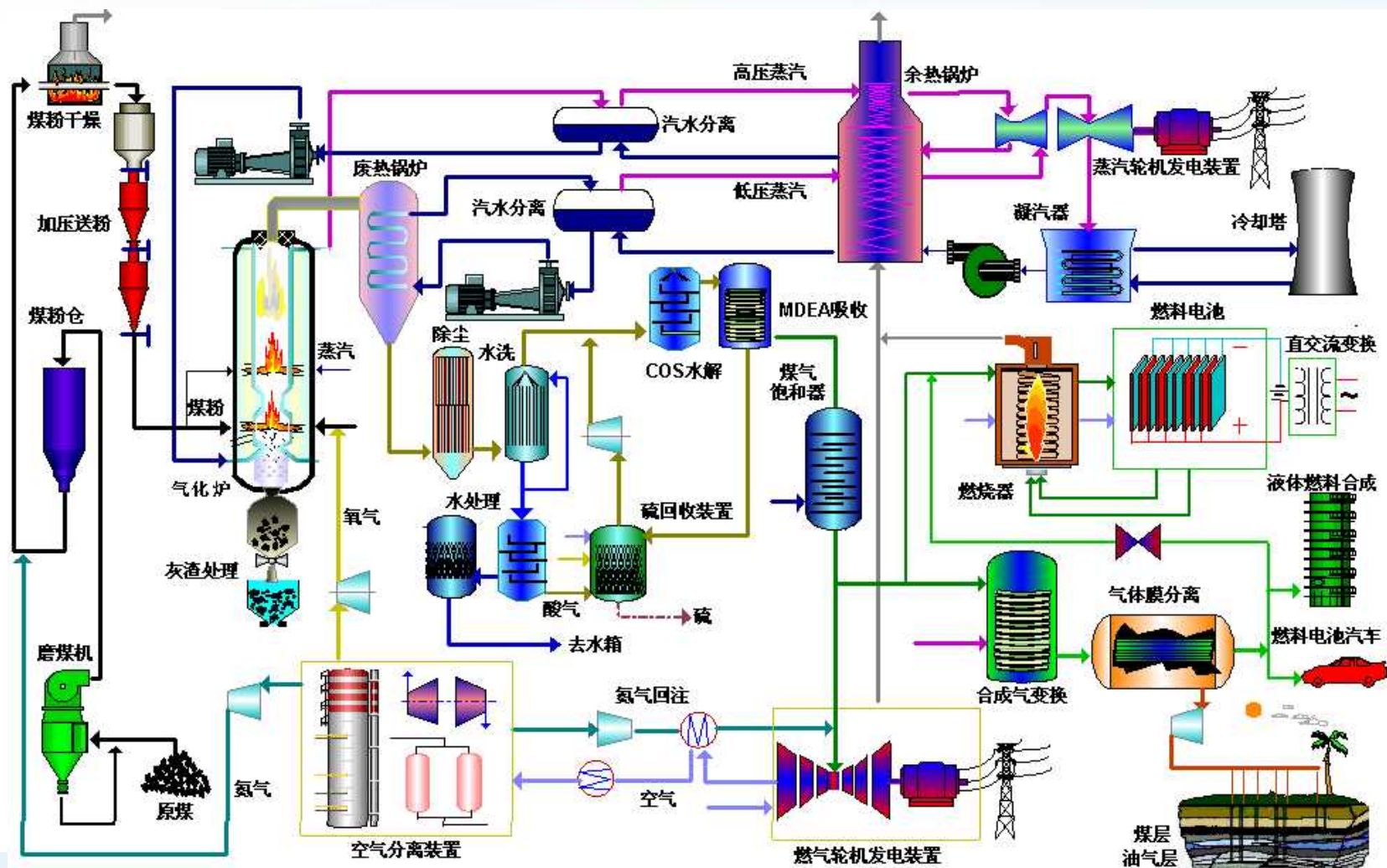
グリーン石炭発電の実証試験を実施する段階

- ◆ 建设40万千瓦级煤制氢、氢能发电和CO₂分离的绿色煤电示范工程
- ◆ IGFC示范
- ◆ 运行近零排放绿色煤电示范电站
- ◆ 经济性验证
- ◆ 商业化准备
- ◆ 40万kW級石炭による水素生産、水素エネルギーによる発電とCO₂分離というグリーン石炭発電の試行的実行プログラム
- ◆ IGFC試行的実行
- ◆ ほぼゼロ排出のグリーン石炭発電模範発電所を稼働
- ◆ 經濟性検証
- ◆ 商業化準備

第三阶段 第三の段階
(2017-2025)

绿色煤电系统流程图

グリーン石炭発電システムのフローチャート



中国首座IGCC示范电站 中国初のIGCC模範発電所



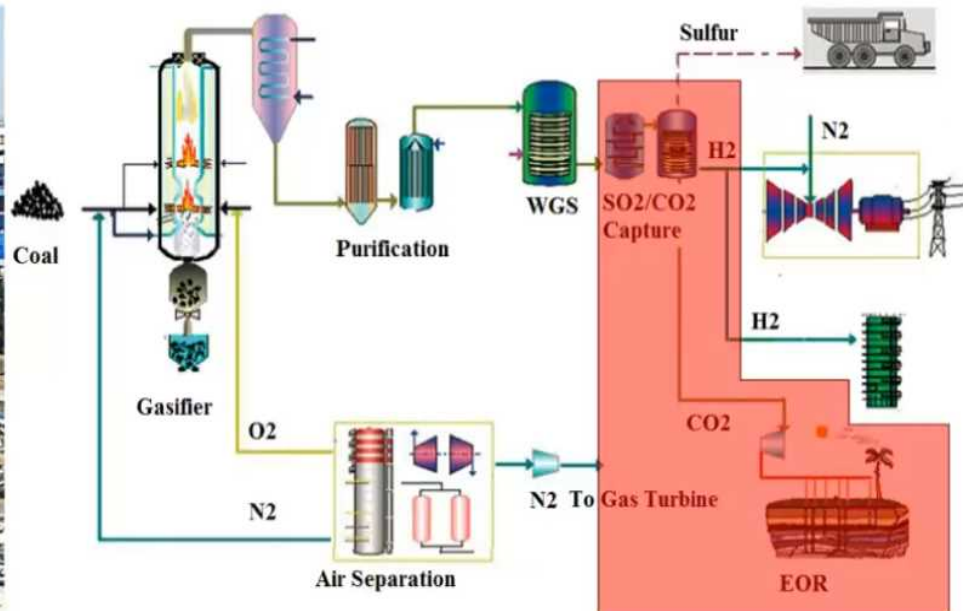
- 2012年建成投运，年均运行时间达到5000小时，运行稳定可靠。2018年9月23日，天津IGCC整套装置连续运行164天，成为全世界连续运行时间最长的IGCC。

2012年に建設完了・稼働開始。年間平均稼働時間が5000時間に達し、信頼性高く稼働状況が安定。2018年9月23日、天津IGCCの全体装置は連続164日稼働し、全世界で連続稼働時間の最も長いIGCCとなった。

世界首座基于IGCC的10万吨级CO₂捕集装置 世界初のIGCCに基づく10万トン級のCO₂回収設備

- 2016年，研制出世界首座基于IGCC的**10万吨/年燃烧前CO₂捕集装置**，并投入运行，捕集小于2.0GJ/t CO₂。

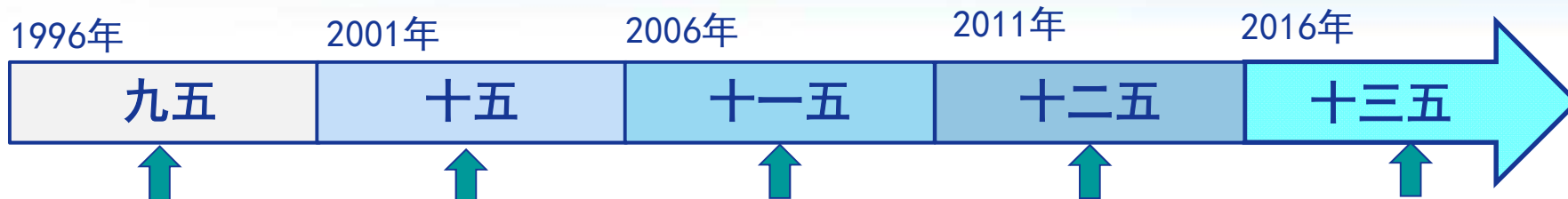
2016年、世界初のIGCCに基づき、燃烧前年間10万トンのCO₂を回収する設備を創出し、運転を開始し、2.0GJ/t以下のCO₂を回収・貯留する。



建成基于IGCC的CO₂捕集示范（10万吨/年）

华能清能院MCFC研发历史沿革

華能クリーンエネルギー研究院MCFC研究開発の歴史的歩み



完成燃料电池发展路线图，发展高温燃料电池

燃料電池発展のロードマップを完成、高温燃料電池を発展

完成燃料电池发电技术系统模拟优化研究

燃料電池発電技術システムにおける模擬最適化研究を完成

建成燃料电池实验室，开展MCFC关键材料研究

燃料電池研究室を建設、MCFCキー・マテリアルを研究を開始

掌握MCFC核心技术，实现2~10kW系统运行

MCFCの核心技术を把握、2~10kWシステムの運行を実現

2020年建成250kW MCFC系统

2020年に250kWのMCFCシステムを完成

低温
高温

磷酸燃料电池 250kW 联合技术公司

100~200℃

碱性燃料电池 12kW 联合技术公司 50~200℃

质子交换膜燃料电池 50kW 巴拉德公司

室温~100℃

800~1000℃ 固体氧化物燃料电池 100kW 西门子-西屋公司

650~700℃ 熔融碳酸盐燃料电池 250kW 燃料电池能源公司

LiAlO₂粉体

LiAlO₂パウダー

镍基电极
ニッケル電極

高性能电极
高性能電極

电池堆
電池プール

发电系统
発電システム

高阻气率隔膜
高抵抗性分子膜

熔融碳酸盐燃料电池关键核心部件研发

溶融炭酸塩形燃料電池(MCFC)のコア・コンポーネントの研究開発

隔膜
分子膜



LiAlO₂粉体
LiAlO₂パウダー



LiAlO₂浆料
LiAlO₂紙料



流延机
流延機



MCFC电解质隔膜
MCFC電解質交換膜

电极
電極



电极粉体
電極パウダー



电极浆料
電極紙料



走带烧结炉
コンベヤ付き焼却炉

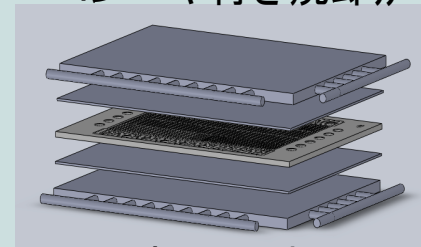


MCFC电极
MCFC電極

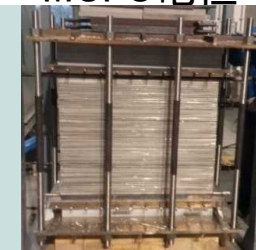
双极板
兩極板



组合式双极板
組合せ式兩極板



电池组装
電池の組み立て



MCFC电池堆
MCFC電池プール

熔融碳酸盐燃料电池研究进展

溶融炭酸塩形燃料電池(MCFC)の研究進展

燃料电池装置, MCGS软件平台上建成数据采集与控制系统

燃料电池設備、MCGSソフトプラットフォームでデータの採集と制御システムを完成

建成熔融碳酸盐燃料电池试验系统

溶融炭酸塩形燃料電池の実証システムを完成

2kW 发电系统, 電池隔膜、電極以及電池堆組裝等关键技术。

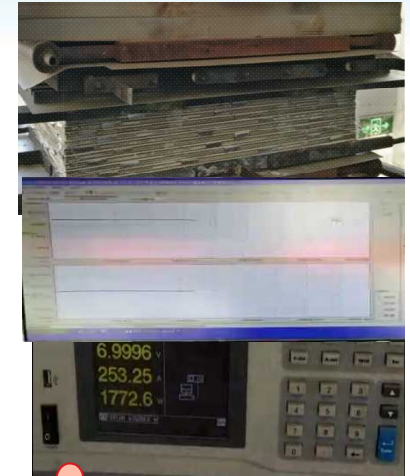
2kW級発電システム、電池膜、電極及び電池プールの組立などのキー・テクノロジー

5kW, 单電池面積1000cm²

5kW、単セル電池面積1000cm²

10kW, 单電池面積2000cm²

10kW、単セル電池面積2000cm²



2017-2018

電流密度提高至120mA/cm²以上, 性能穩定, 验证了所制备材料的性能

電流密度が120mA/cm²以上に向上し、性能が安定、生産材料の性能を検証

在北京未来科技城建成国内领先、国际先进的燃料电池实验室

北京未来科学技術城で国内外をリードする燃料電池実験室を完成

中国华能集团清洁能源技术研究院
CHINA HUANENG CLEAN ENERGY RESEARCH INSTITUTE



2014



2015



2016



2008



2006

2014 ~ 今 ~



MCFC主要研发进展

MCFCにおける主な研究開発進展



100节单电池串联面积2000cm²

100節の単セル電池が直結した面積は2000cm²



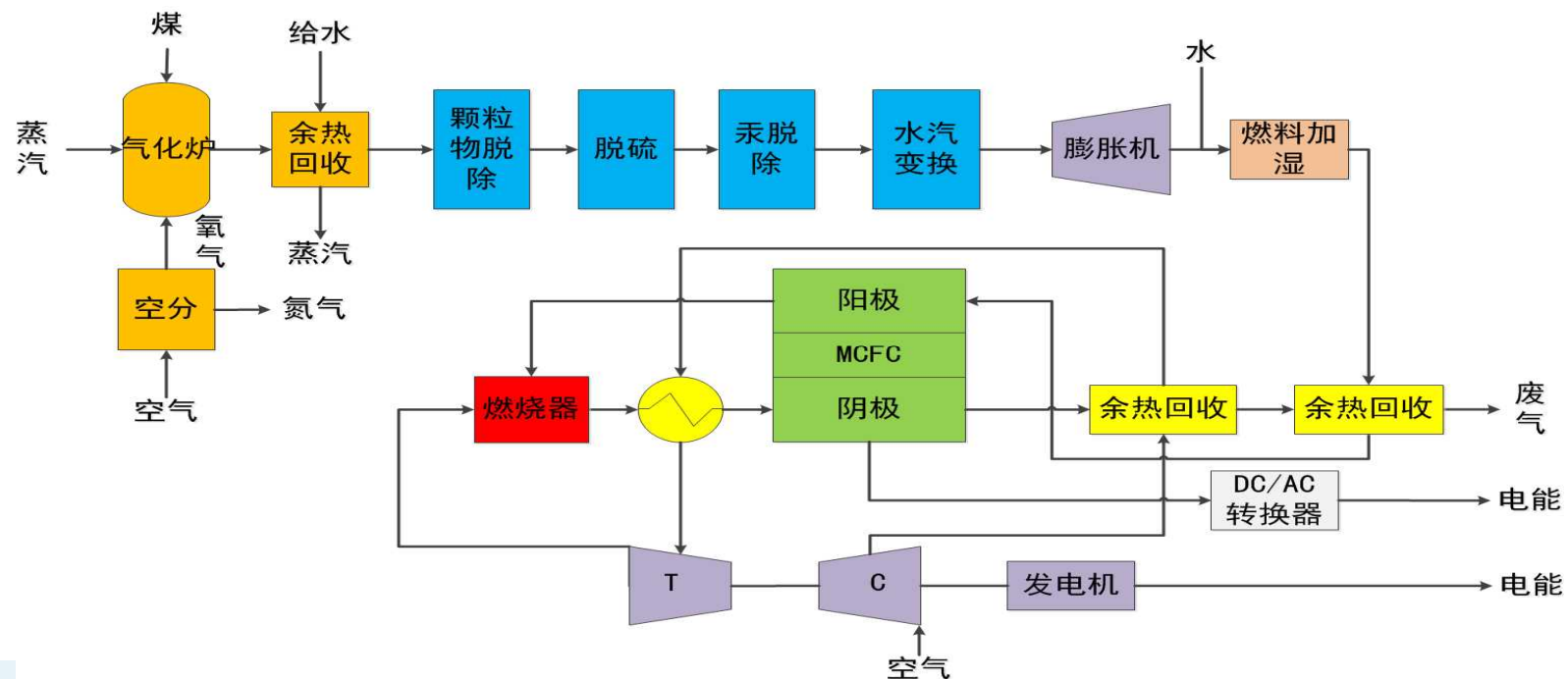
10kW熔融碳酸盐燃料电池系统

10kW級熔融碳酸塩形燃料電池システム

MW级IGFC研究开发

MW級IGFCの研究開発

- 面向大规模固定式发电，实现煤电清洁、高效、CO₂近零排放
大規模の固定型発電に向け、石炭発電のクリーン、高効率、CO₂のほぼゼロ排出を実現
- 开发MW级煤气化熔融碳酸盐燃料电池系统
MW級石炭ガス化熔融炭酸塩形燃料電池システムを開発



研发目标 研究開発目標

- 2020年，实现20-100kW熔融碳酸盐燃料电池发电系统的开发，发电效率达到50%，热电联产效率>80%，MCFC混合发电系统发电效率>55%，在国内工业园区、制造厂等进行示范推广。

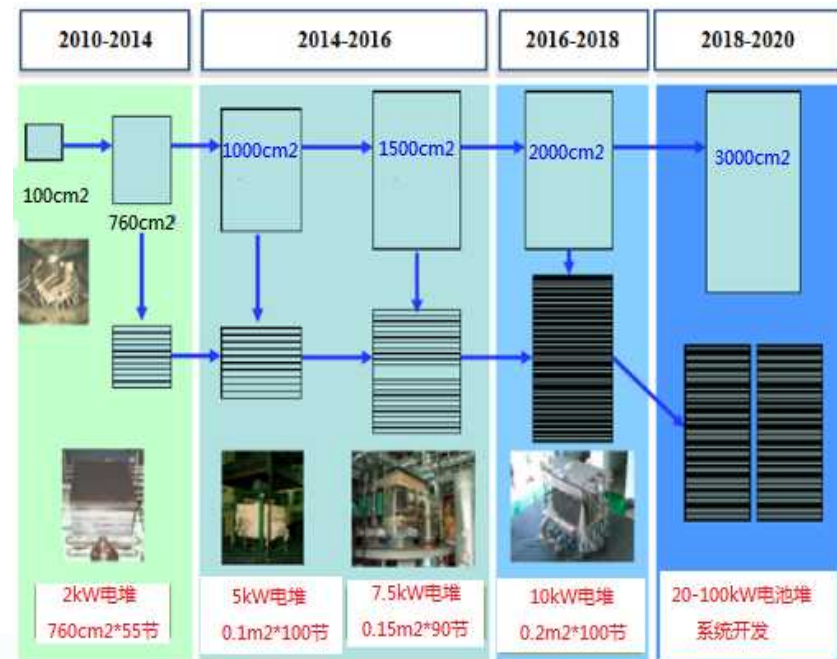
2020年まで、20-100kW級溶融炭酸塩形燃料電池の発電システムを開発、発電効率を50%に向上し、コジェネ燃料の効率を80%以上にアップさせ、MCFC複合発電システムの発電効率を55%以上に向上する。国内の工業パークや製造工場などに試行的実行・普及。

2019 :

- 电池面积0.2m² 電池面積0.2m²
- 20kW电堆 20kW電池プール
- 发电效率47% 発電効率47%

2020 :

- 电池面积0.3m² 電池面積0.2m²
- 100kW电堆 100kW電池プール
- 发电效率50% 発電効率50%



结 语

まとめ

- IGFCは突破煤电效率瓶颈、CO₂和污染物近零排放、灵活性瓶颈的一条有效技术途径，而且能够与氢能相结合实现多联产，是能源领域战略必争的新一代清洁煤发电技术。

IGFCは石炭発電効率の制限を突破し、CO₂と汚染物のほぼゼロ排出、柔軟性のボトルネックを突破する有効技術方法である。また、水素エネルギーと組合せることで多連合生産が実現でき、エネルギー分野における獲得せねばならぬ革新的な次世代クリーン石炭発電技術である。

- 中国华能集团开发出具有自主知识产权的IGCC、燃烧前CO₂捕集以及熔融碳酸盐燃料电池关键技术和成套设备，建成我国第一座IGCC示范电站，奠定了中国发展IGFC的技术基础。

中国華能グループは自主知的財産権を有するIGCCを開発し、燃焼前のCO₂回収及び溶融炭酸塩形燃料電池に関するキー・テクノロジーとプラント設備を開発し、我が国初のIGCC模範発電所を築き上げ、中国のIGFC発展の技術的基礎を

固めた。

谢谢！
ありがとうございました！



创新清洁能源技术
助推绿色电力发展