

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

## 主な内容

❖ 背景

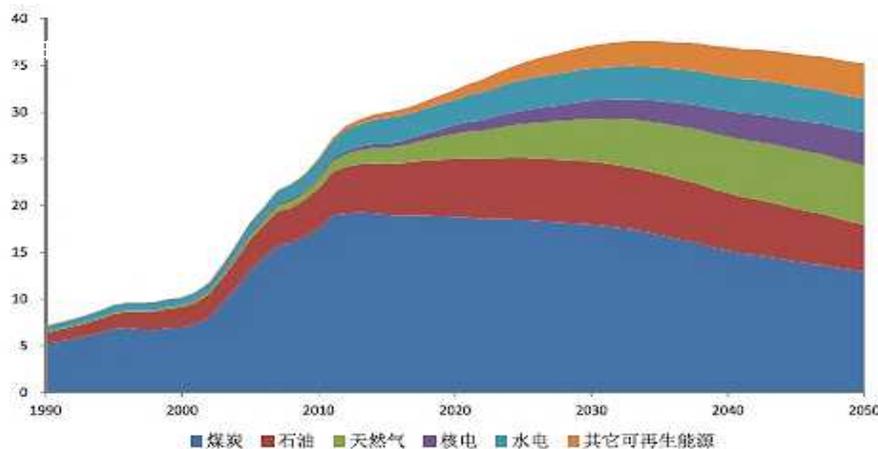
❖ 中国IGFC研究进展  
中国におけるIGFC研究の進展

❖ 结语  
まとめ

# 背景

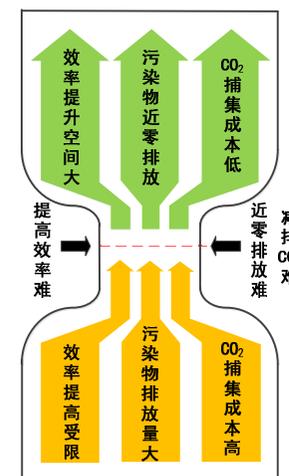
□ 煤电在我国能源结构中的基础地位在相当长时期内不会改变，现有煤电技术面临着**提高效率难、近零排放难、减排CO<sub>2</sub>难**的瓶颈，IGFC发电技术能够突破这三大瓶颈。

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、CO<sub>2</sub>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

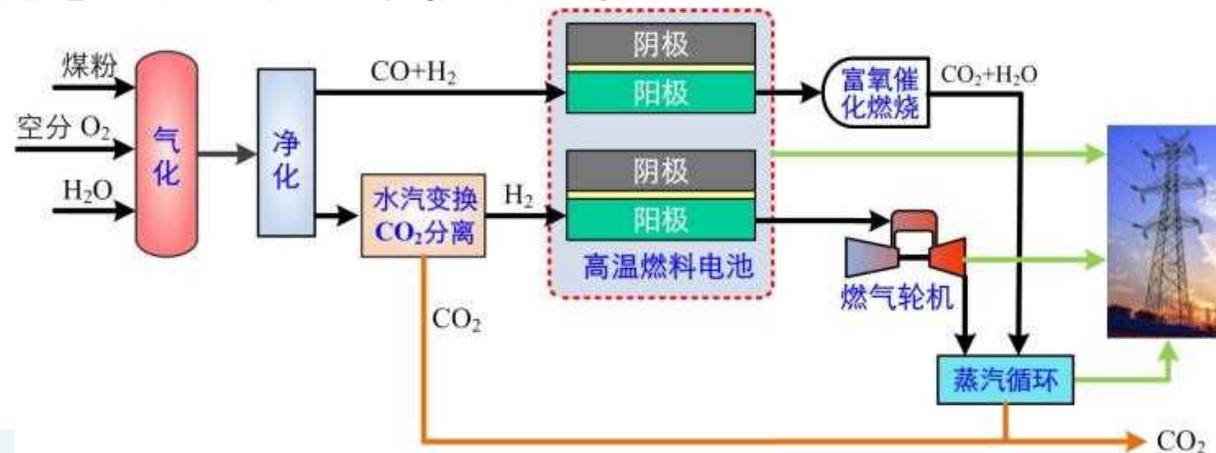


# 整体煤气化燃料电池发电IGFC (Integrated Gasification Fuel Cell) 石炭ガス化燃料電池複合発電

- 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CO<sub>2</sub>捕集成本, 实现CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>の回収コストを抑え、CO<sub>2</sub>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。

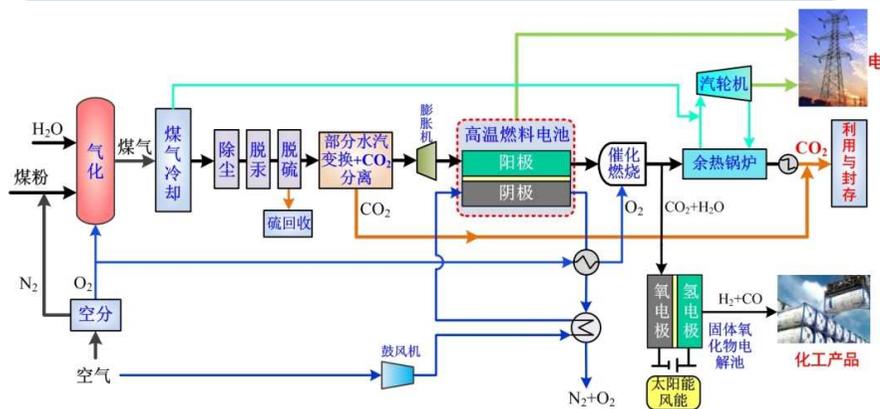


# IGFC是化石燃料发电效率提升的有效途径

## 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

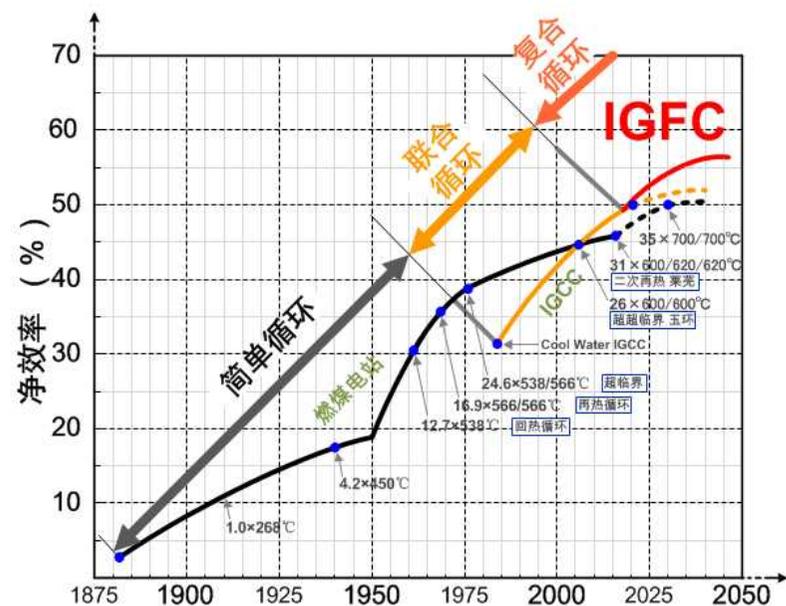


**热力循环发电**：利用煤气化、燃料电池以及催化燃烧产生的高温余热进行发电，实现能量的梯级利用

**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

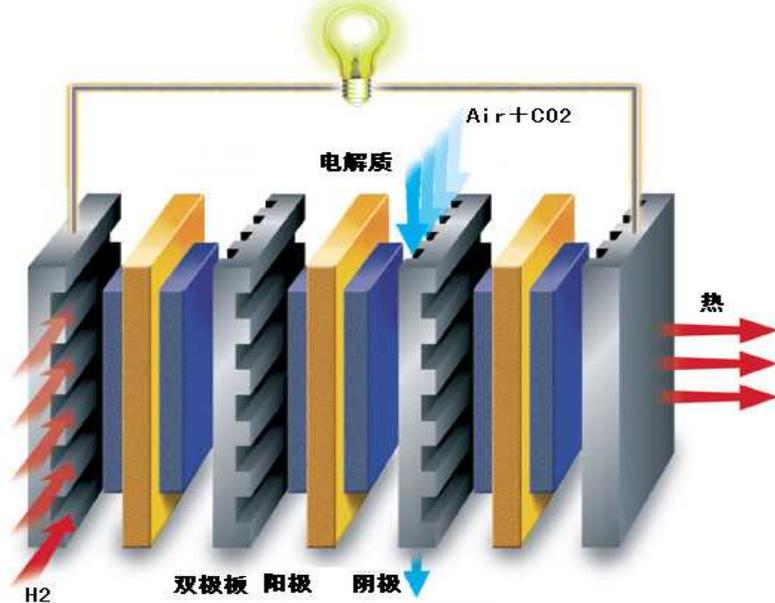


# IGFC可实现CO<sub>2</sub>的低成本富集

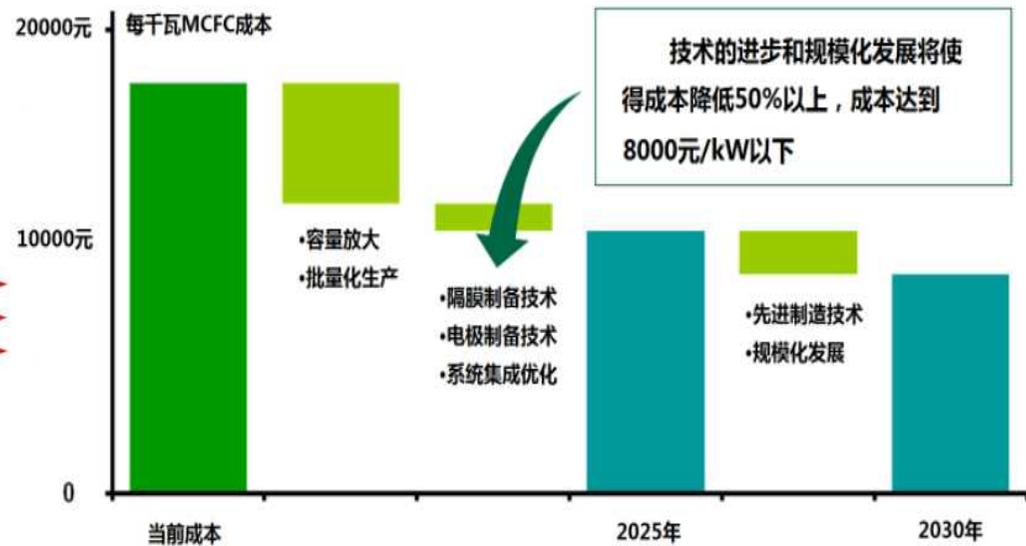
## IGFCはCO<sub>2</sub>の低コストでの回収・貯留を実現

- IGFC可实现燃料电池内CO<sub>2</sub>富集和污染物控制，大大降低CO<sub>2</sub>的捕集成本，NO<sub>x</sub>和SO<sub>x</sub>达到近零排放

IGFCは燃料電池内部におけるCO<sub>2</sub>の回収と汚染物の抑制を実現し、CO<sub>2</sub>の回収コストを大幅に低減し、NO<sub>x</sub>とSO<sub>x</sub>をほぼゼロで排出



MCFC的CO<sub>2</sub>富集原理  
MCFCのCO<sub>2</sub>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“CO<sub>2</sub>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：「CO<sub>2</sub>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
- ◆ CO<sub>2</sub>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
- ◆ CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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)



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



# 中国首座IGCC示范电站 中国初のIGCC模範発電所



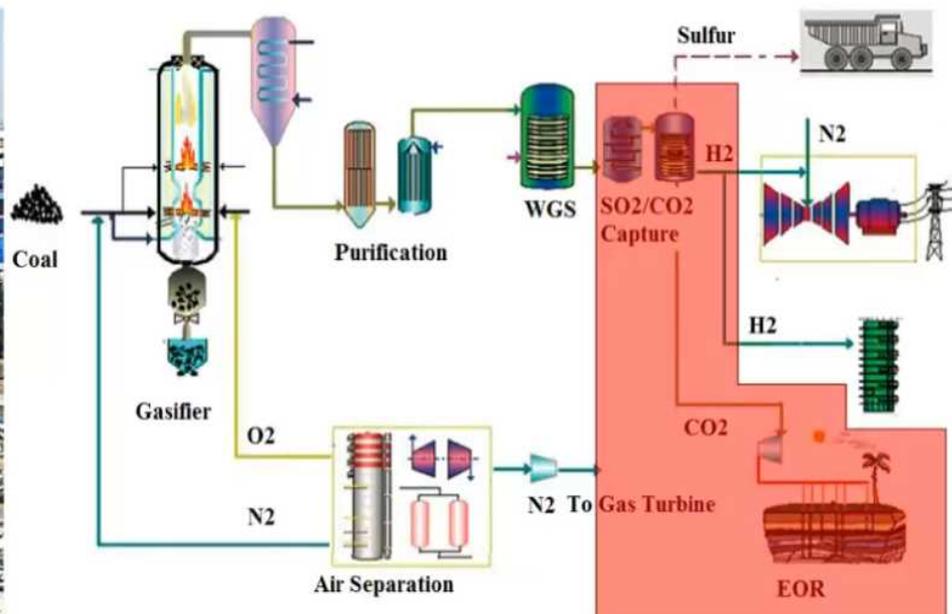
- 2012年建成投运，年均运行时间达到5000小时，运行稳定可靠。2018年9月23日，天津IGCC整套装置连续运行164天，成为全世界连续运行时间最长的IGCC。

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CO<sub>2</sub>捕集装置 世界初のIGCCに基づく10万トン級のCO<sub>2</sub>回収設備

- 2016年，研制出世界首座基于IGCC的**10万吨/年燃烧前CO<sub>2</sub>捕集装置**，并投入运行，捕集小于2.0GJ/t CO<sub>2</sub>。

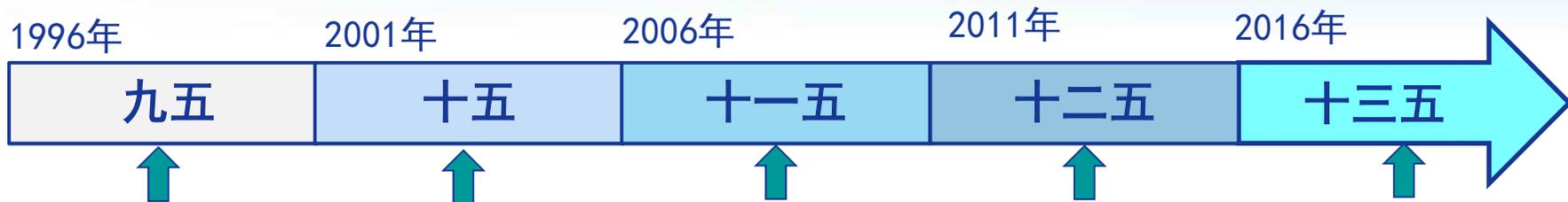
2016年、世界初のIGCCに基づき、燃烧前年間10万トンのCO<sub>2</sub>を回収する設備を創出し、運転を開始し、2.0GJ/t以下のCO<sub>2</sub>を回収・貯留する。



建成基于IGCC的CO<sub>2</sub>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

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

LiAlO<sub>2</sub>粉体

LiAlO<sub>2</sub>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



LiAlO<sub>2</sub>粉体  
LiAlO<sub>2</sub>パウダー



LiAlO<sub>2</sub>浆料  
LiAlO<sub>2</sub>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



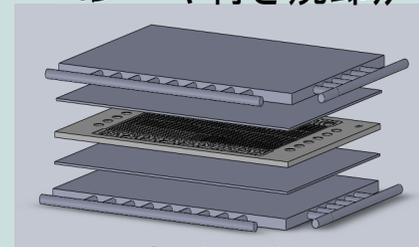
MCFC电极  
MCFC電極

双极板

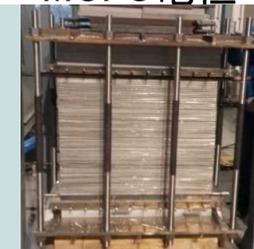
兩極板



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。

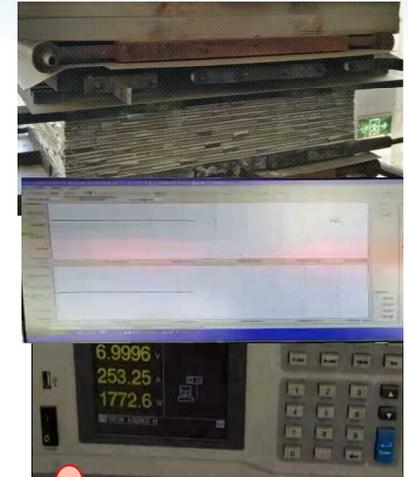
2kW級発電システム、電池膜、電極及び電池プールの組立などのキー・テクノロジー

5kW, 单電池面積1000cm<sup>2</sup>

5kW、単セル電池面積1000cm<sup>2</sup>

10kW, 单電池面積2000cm<sup>2</sup>

10kW、単セル電池面積2000cm<sup>2</sup>



2017-2018

電流密度提高至120mA/cm<sup>2</sup>以上, 性能穩定, 验证了所制备材料的性能

電流密度が120mA/cm<sup>2</sup>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2000cm<sup>2</sup>

100節の単セル電池が直結した面積は2000cm<sup>2</sup>



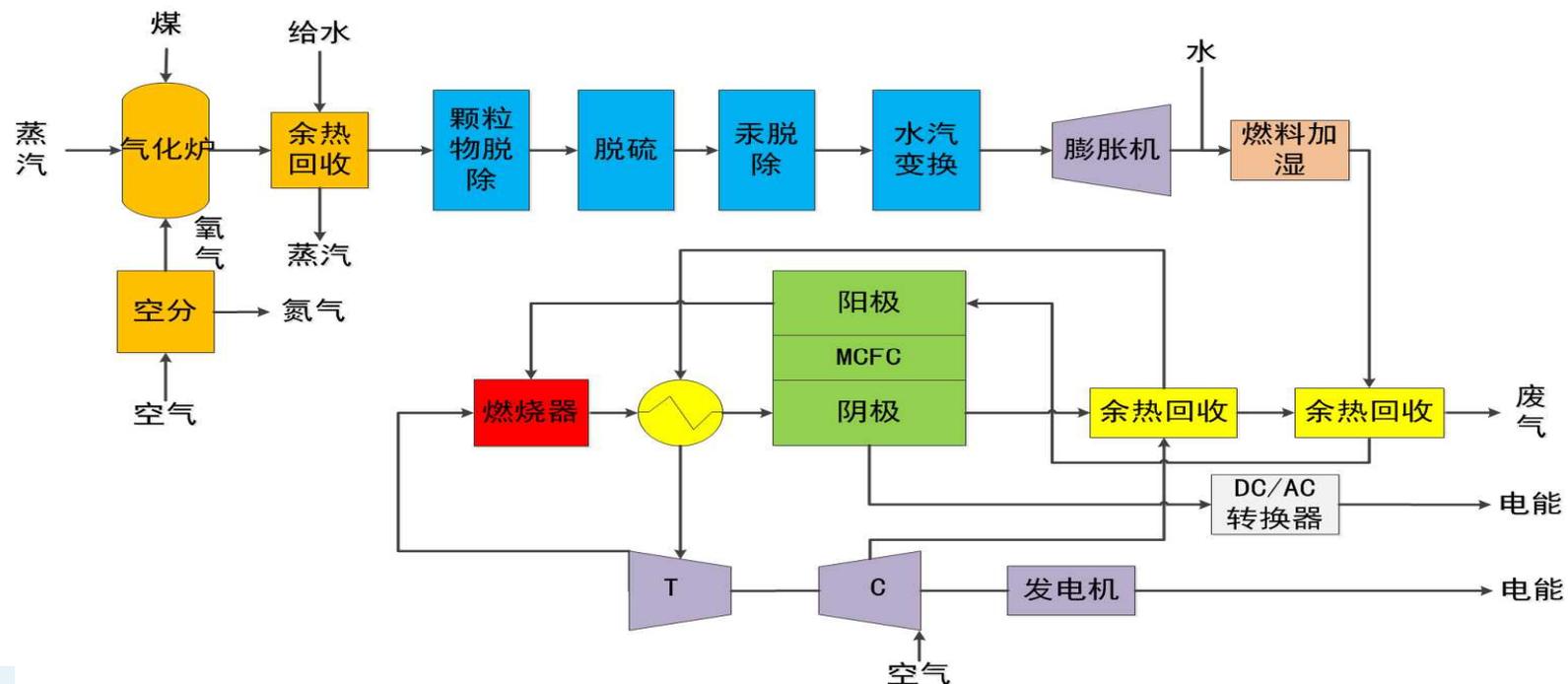
10kW熔融碳酸盐燃料电池系统

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、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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。

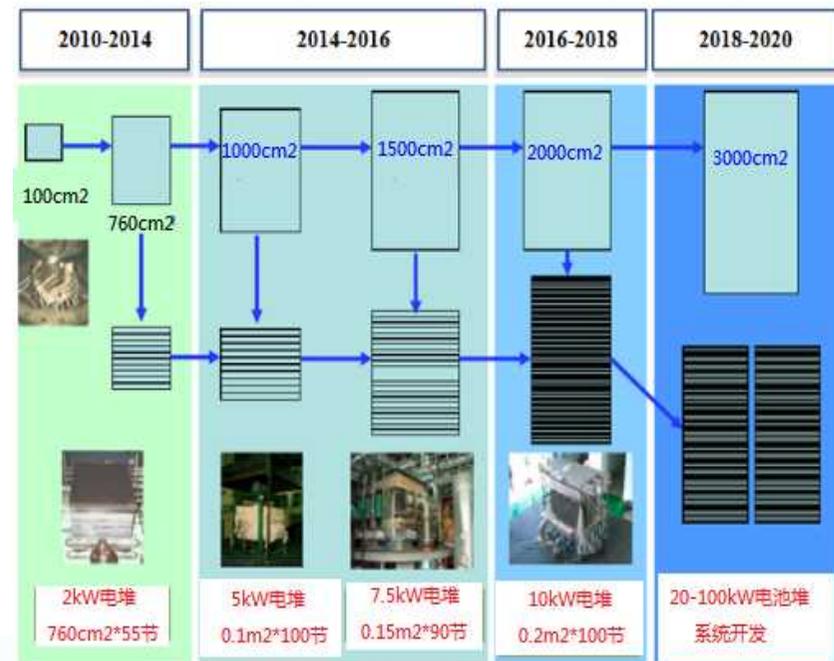
2020年まで、20-100kW級溶融炭酸塩形燃料電池の発電システムを開発、発電効率を50%に向上し、コジェネ燃料の効率を80%以上にアップさせ、MCFC複合発電システムの発電効率を55%以上に向上する。国内の工業パークや製造工場などに試行的実行・普及。

2019 :

- 电池面积0.2m<sup>2</sup>      電池面積0.2m<sup>2</sup>
- 20kW电堆              20kW電池プール
- 发电效率47%          発電効率47%

2020 :

- 电池面积0.3m<sup>2</sup>      電池面積0.2m<sup>2</sup>
- 100kW电堆            100kW電池プール
- 发电效率50%          発電効率50%



# 結 語

## まとめ

- IGFCは突破煤电效率瓶颈、CO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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