

低炭素社会実現のための 具体的対策について

平成22年11月5日
東京大学 生産技術研究所
特任教授 橋本 彰

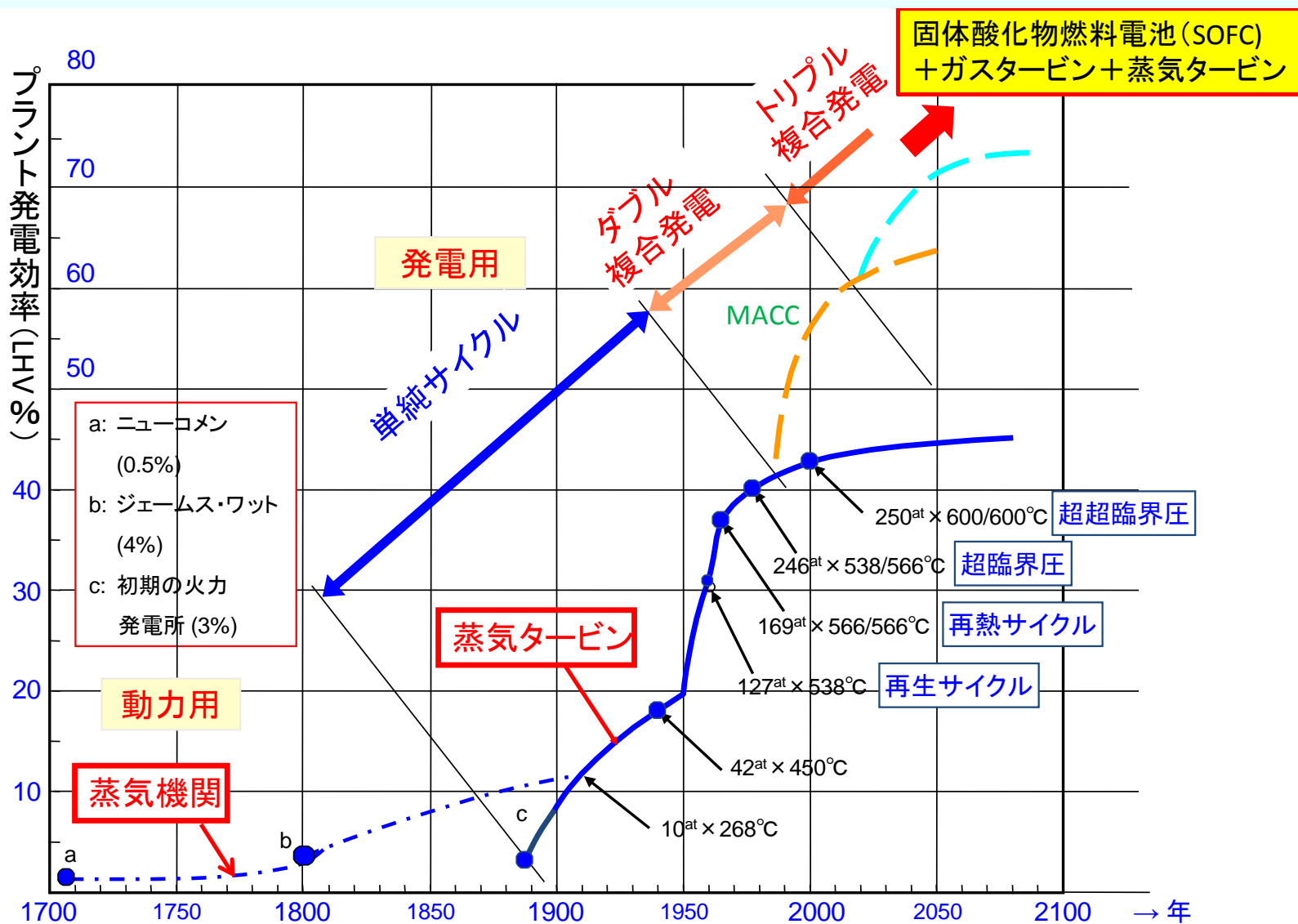
内容

- **究極の高効率発電**
高温形燃料電池の適用
- **自然エネルギーの円滑な活用**
太陽電池と風車の出力変動の吸収
可変速・可変ピッチ水車による揚水発電
- **自然エネルギー活用推進**
波力発電
- まとめ

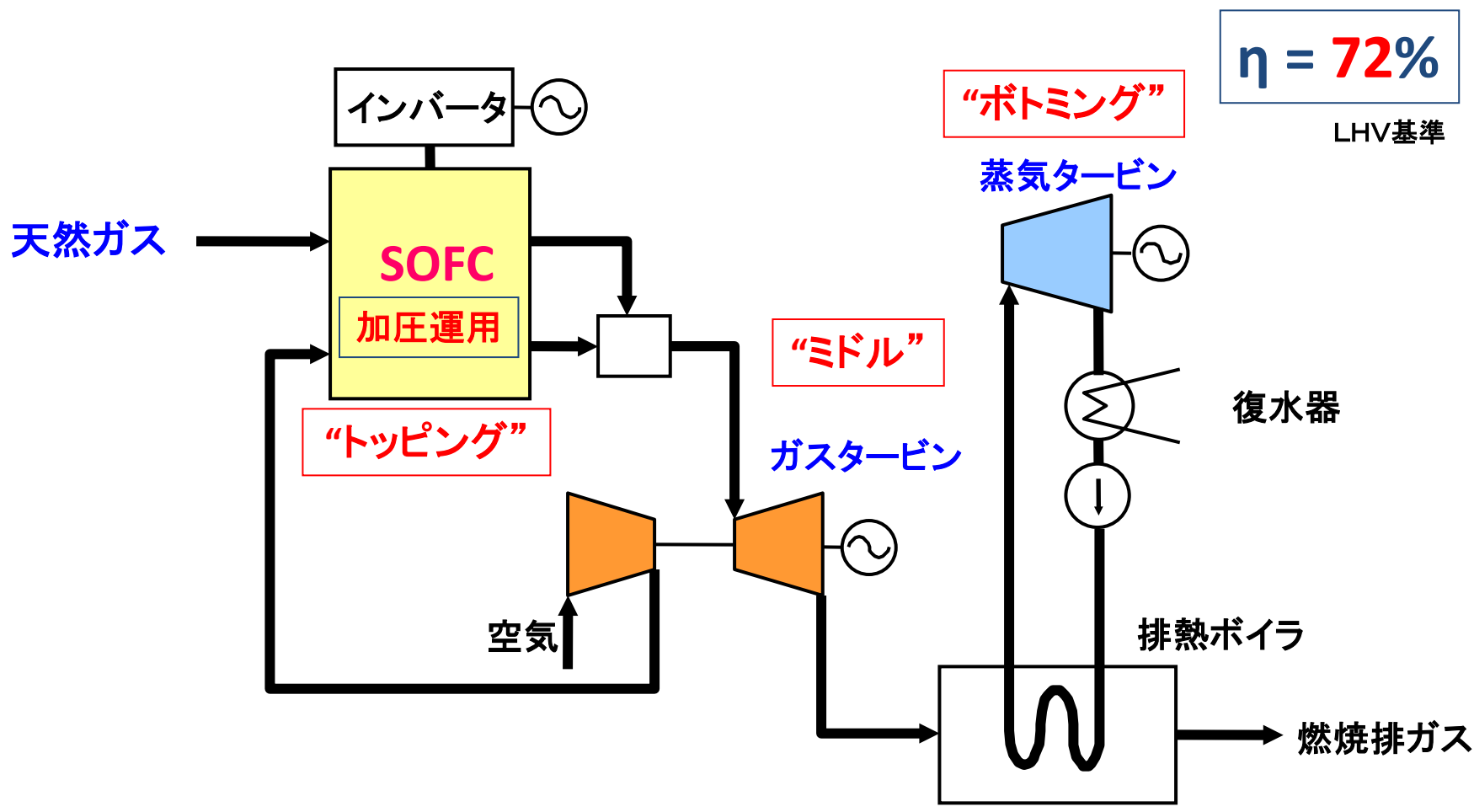
内容

- **究極の高効率発電**
 - 高温形燃料電池の適用
- 自然エネルギーの円滑な活用
 - 太陽電池と風車の出力変動の吸収
 - 可変速・可変ピッチ水車による揚水発電
- 自然エネルギー活用推進
 - 波力発電
- まとめ

熱効率の推移

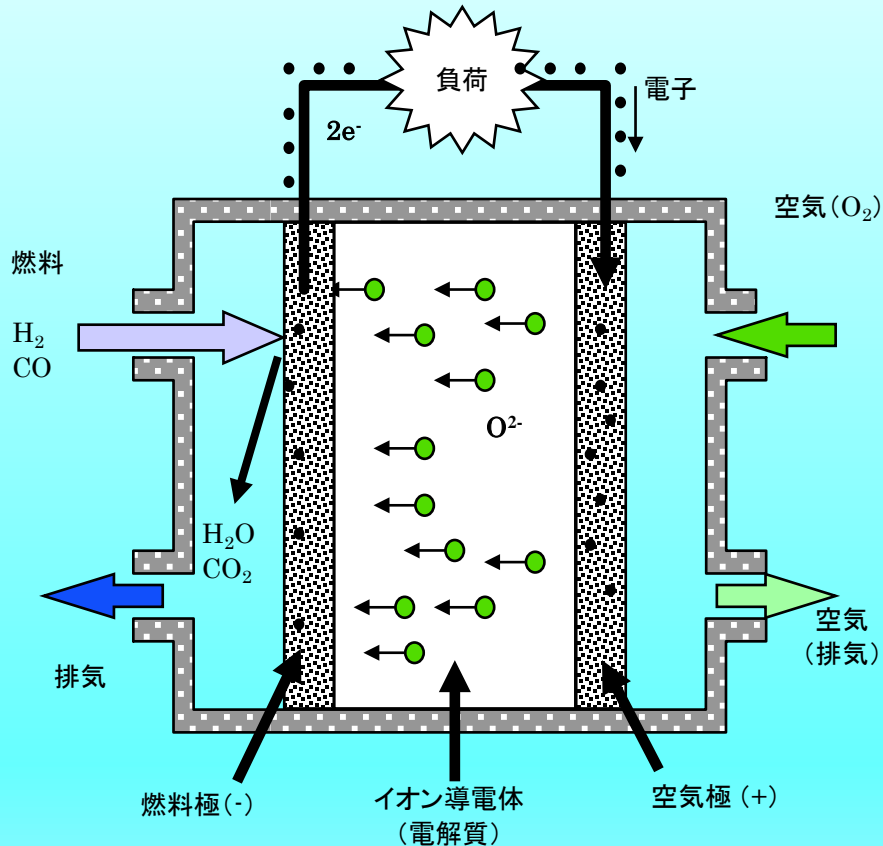


トリプル複合発電システムとSOFC (燃料:LNG)



SOFC: Solid Oxide Fuel Cell (固体酸化物形燃料電池)

SOFC



SOFCの原理

SOFCの特徴

- ・高温作動

作動温度: $900 \sim 1000^\circ C$

→ガスタービンのトッピングサイクル

- ・多種類の燃料が使用可能

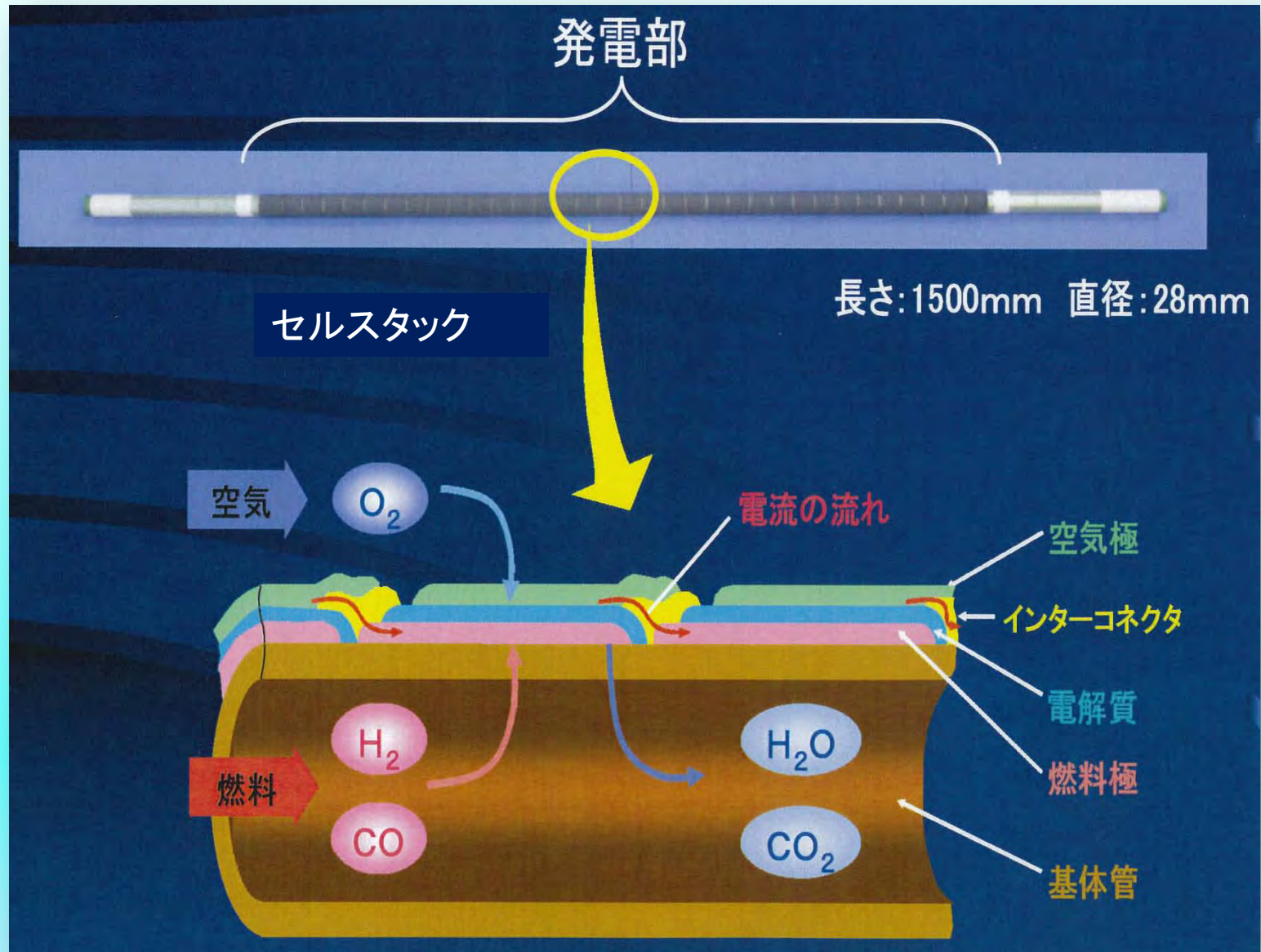
電解質内を O^{2-} が移動

→ H_2, CO が燃料に使える

→石炭ガス化ガス、メタン、プロパン
がそのまま使える。

(低温形燃料電池PEFCは水素イオン
が電解質を通過するため純水素を
燃料として使用する。)

円筒形SOFCの構造



加圧形SOFC



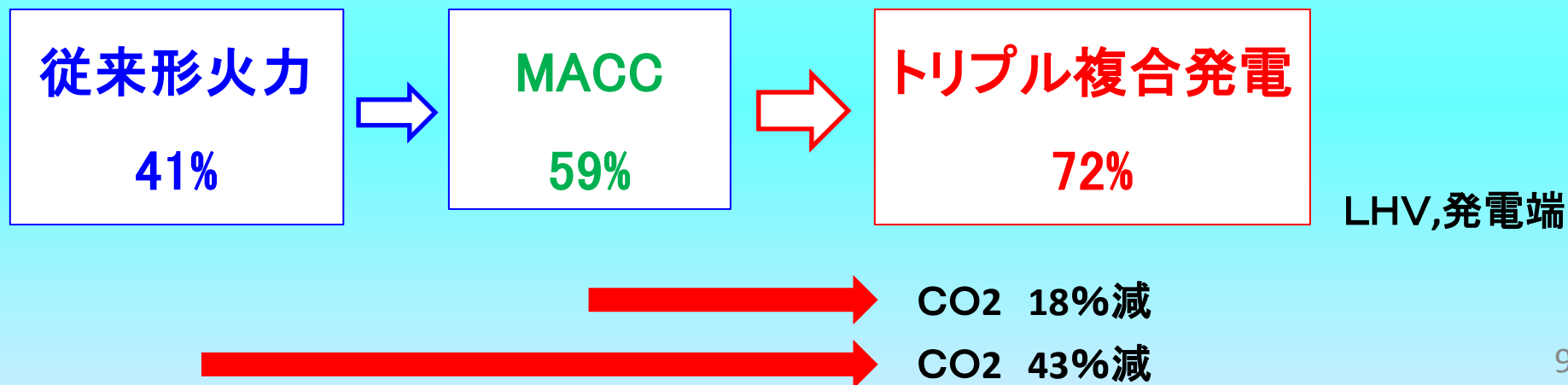
三菱重工(株) 長崎造船所 に設置
(NEDO委託研究 MHI報告書より)

トリプル複合発電システムの特長

トッピングのSOFCの排熱はミドルサイクルの入熱

- トッピングサイクルで消費したエネルギーは、放熱ロスを除き全て電気エネルギーとなる
- ミドルサイクル・ボトムサイクルは現在、最高効率を示すガスタービン/蒸気タービン複合発電システム(MACC)

究極の高効率発電



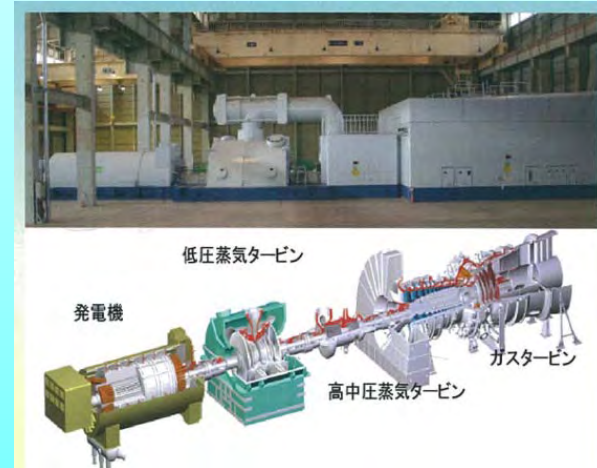
石炭ガス化との組合せ



勿来石炭ガス化
実証プラント



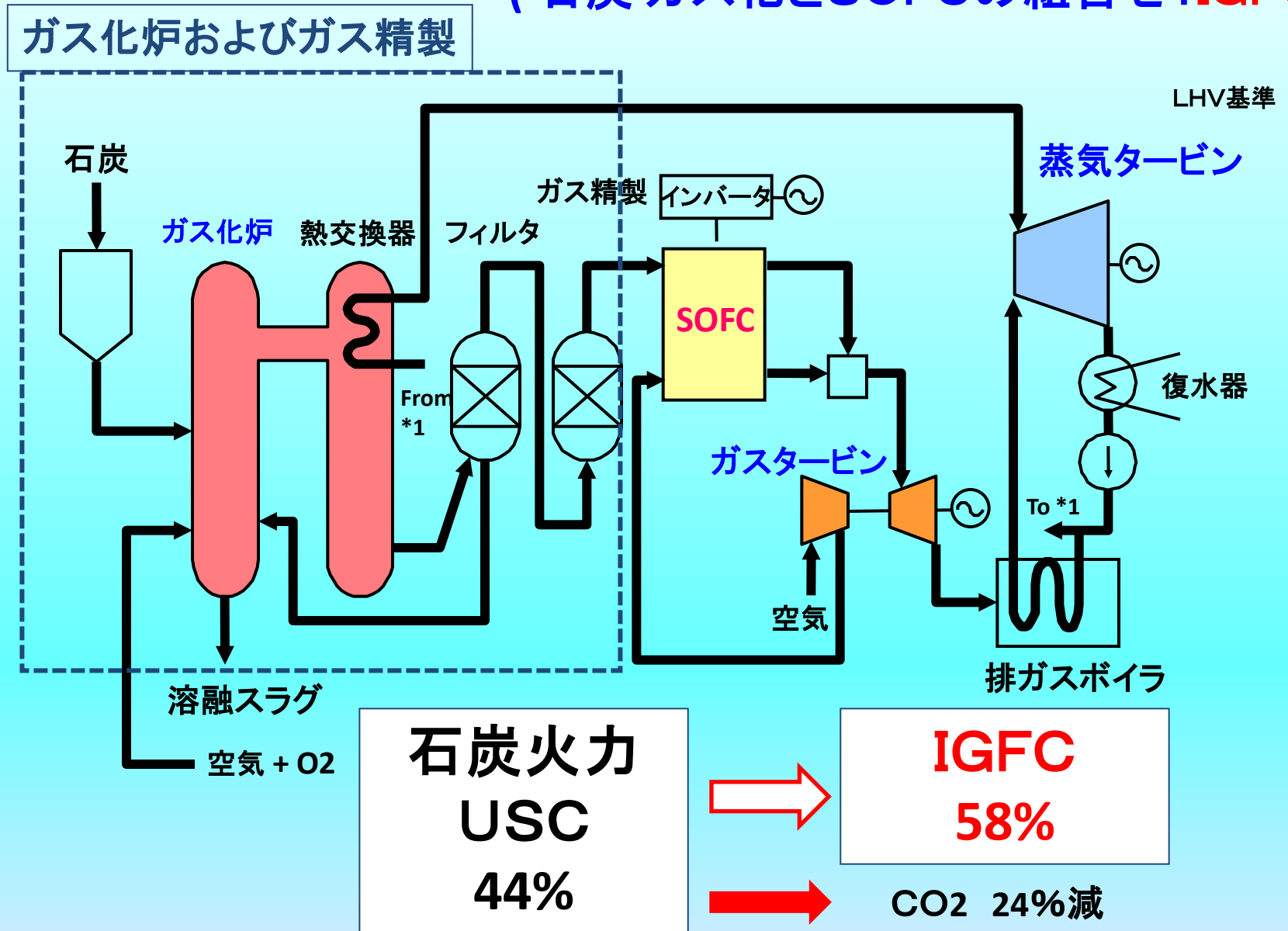
加圧形SOFC
(NEDO委託研究 MHI報告書より)



東電川崎
1500°C級ガスタービン
MACC

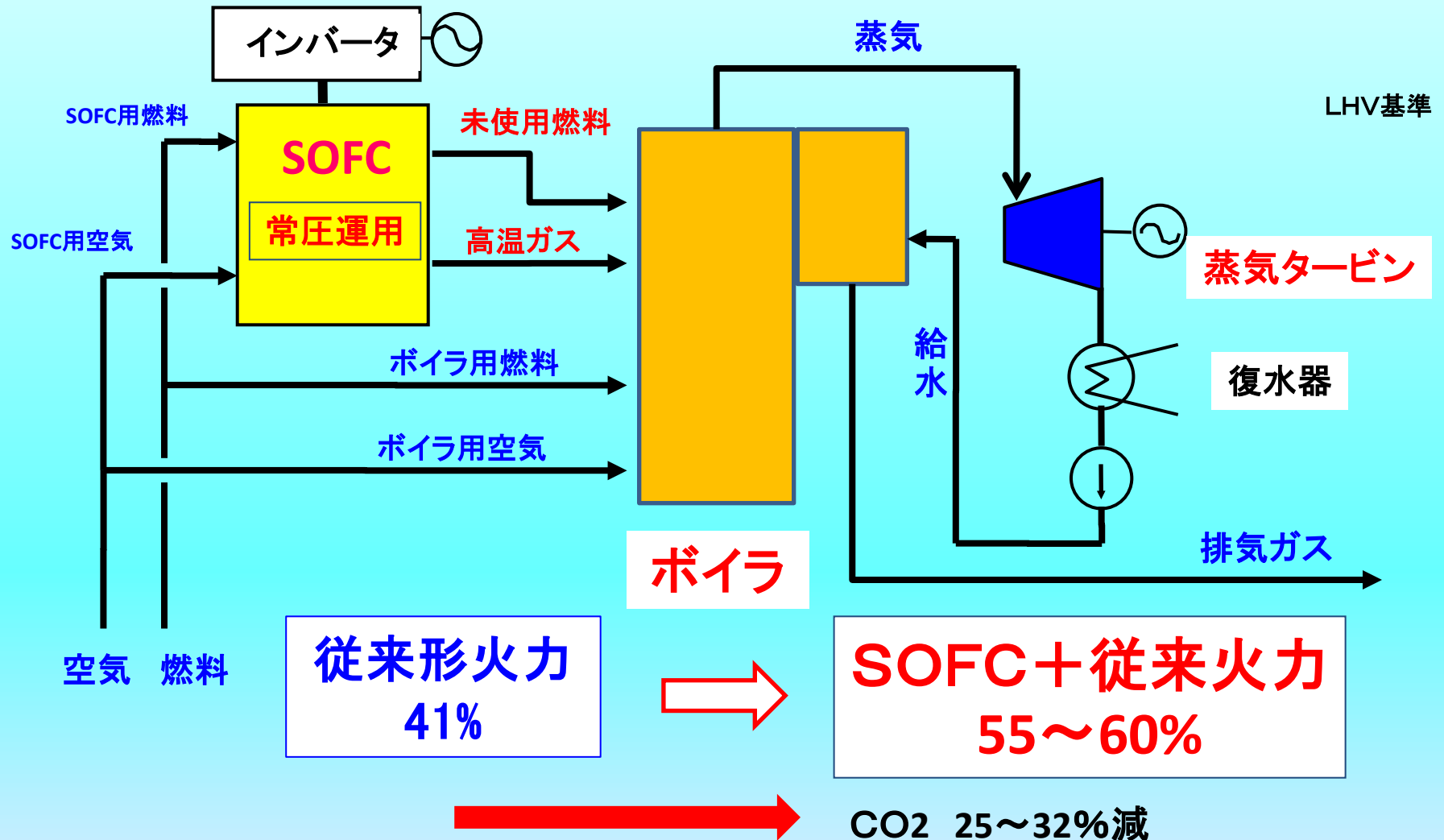
トリプル複合発電 (石炭)

(石炭 ガス化とSOFCの組合せ:IGFC)



従来の火力発電所へのSOFC適用

ボイラの上流にSOFCを設置し、SOFCで発電した後の未使用の燃料と高温ガスをボイラへの入熱として熱回収を図る。



内容

- 究極の高効率発電
高温形燃料電池の適用
- **自然エネルギーの円滑な活用**
太陽電池と風車の出力変動の吸収
可変速・可変ピッチ水車による揚水発電
- 自然エネルギー活用推進
波力発電
- まとめ

太陽光発電・風力発電の計画状況

	設備容量 (万kW)			年間平均予想出力 (万kW)			年間発電電力量 (億kWh)	総発電電力量 に対する比率
	太陽光	風力	計	太陽光	風力	計		
2020年度	2800	490	3290	336	108	444	389	3.9%
2030年度	5300	660	5960	636	145	781	684	6.8%

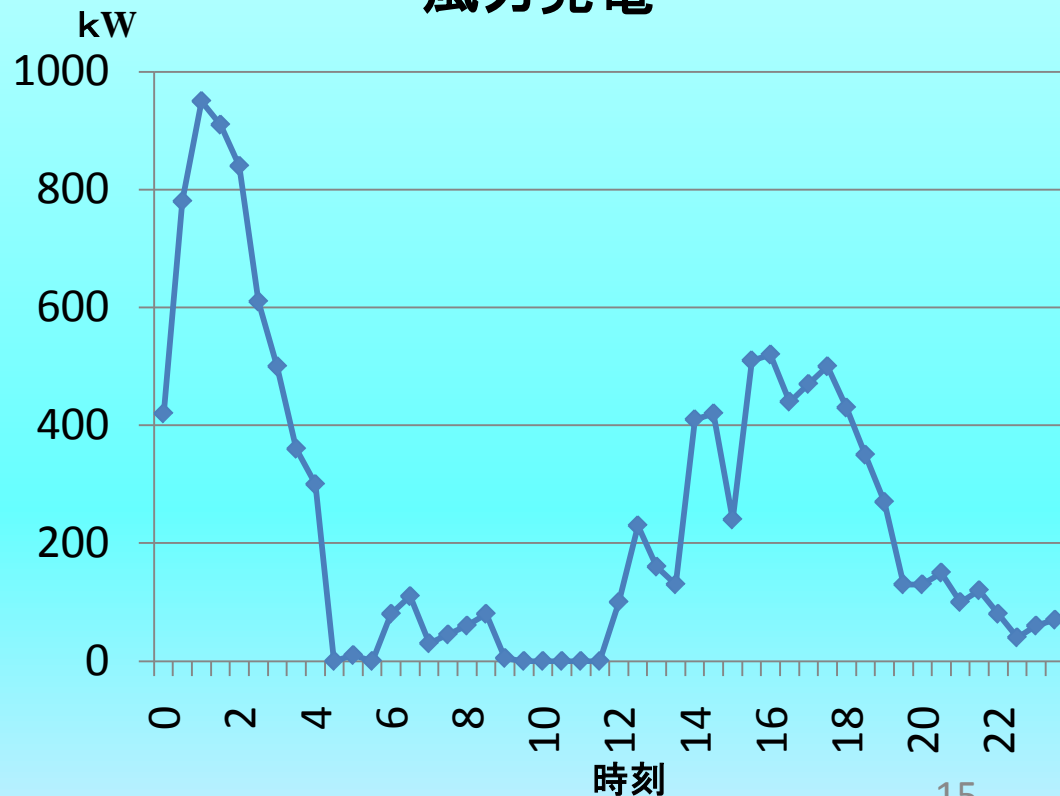
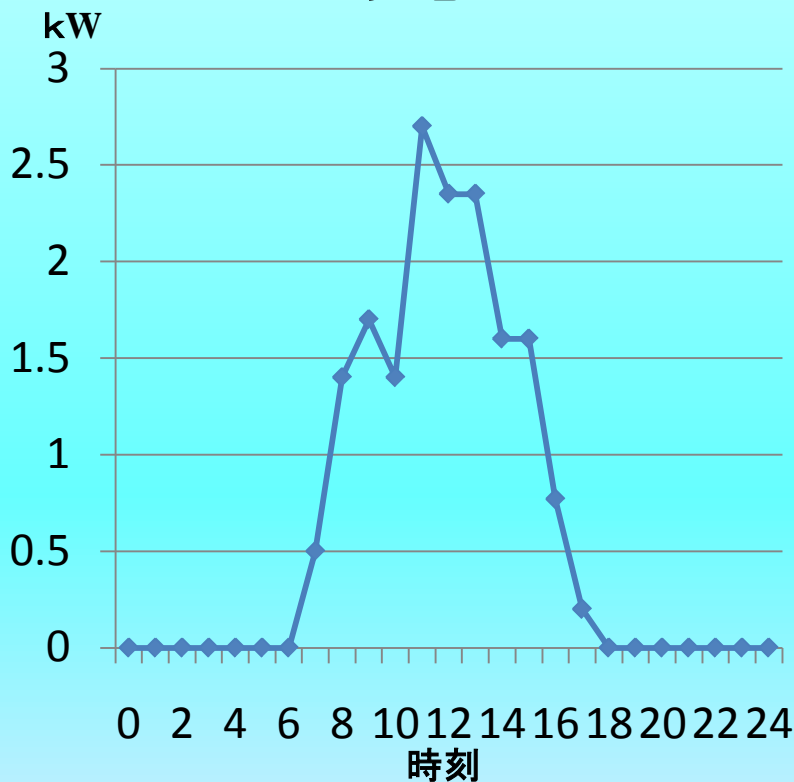
太陽電池と風車の出力変動

自然エネルギーは**天候の影響を受ける**ため、大量に導入すると**平準化対策**が必要になる。

太陽電池と風力発電の1日の発電量の例

太陽電池（晴天時）

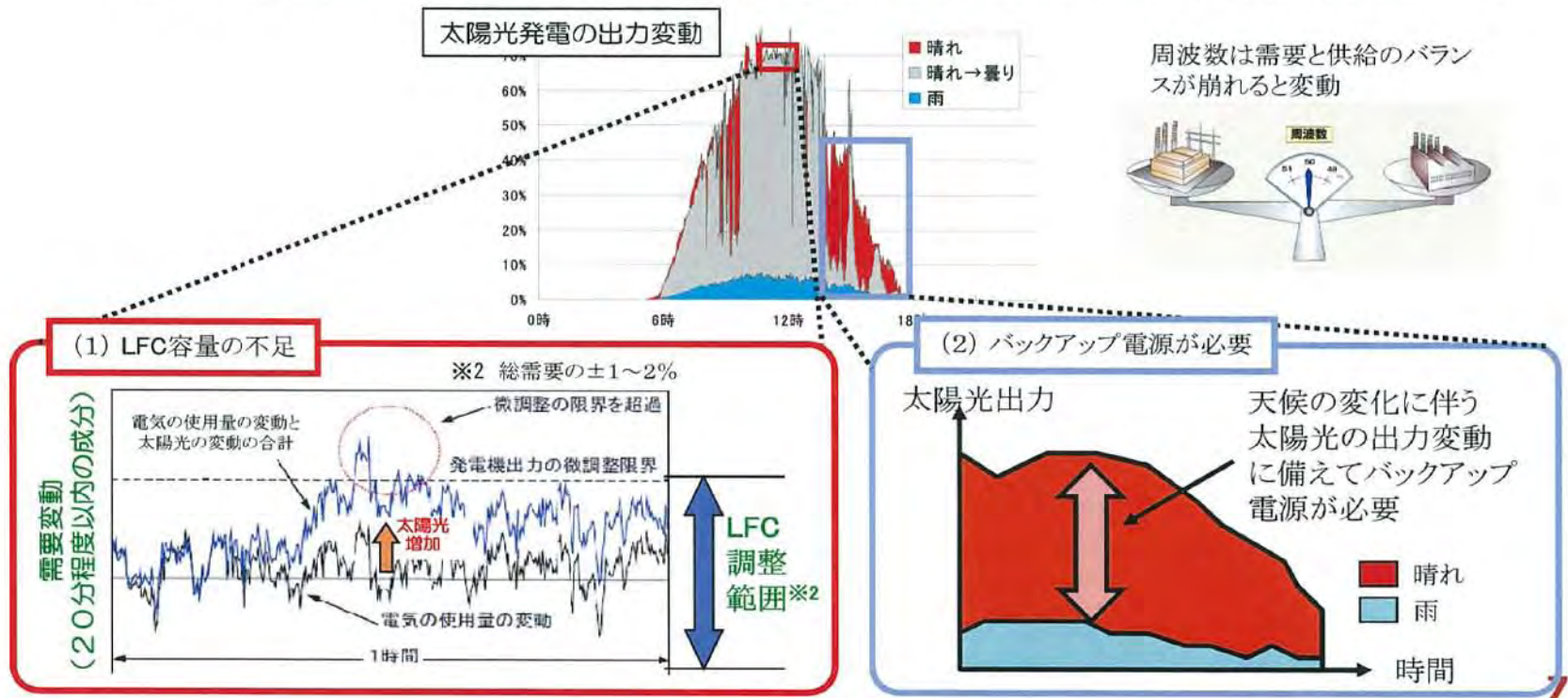
風力発電



(参考) 課題②: 周波数調整力の不足

- 太陽光発電の出力は、天候などの影響で変動するため予測困難。
- 太陽光の導入量が拡大すると、その変動に対応する周波数調整力が不足するおそれ
 - (1) 電力需要の小刻みな変動(20分程度以内)に、太陽光出力の変動が加わることで、供給エリアごとに確保している調整力(LFC※1容量)が不足するおそれ。
 - (2) 天候の変化による太陽光出力の大幅な変動に備えて、バックアップ電源が必要。

※1: 電力需要の小刻みな変動(20分程度以内)に対しては中央給電指令所から火力・水力などの発電量を自動的に微調整して、周波数を維持する機能



可変速・可変ピッチ水車による揚水発電

- 可変速水車 : **±5%の回転数制御で30%の揚水量を調整。**
定速水車を可変速化するには**回転子、励磁機**の取替えが必要。
- 可変ピッチ水車: **落差200m以下の揚水発電所で採用可能。**
揚水量を調整するためには**可変ピッチプロペラ**への変更が必要。

日本の水力発電(9電力)



水力総容量 (万kW)	一般水力総容量 (万kW)	揚水総容量 (万kW)	可変速・可変ピッチ化 の際の対応可能容量 (万kW)
3,192	1,202	1,990	597

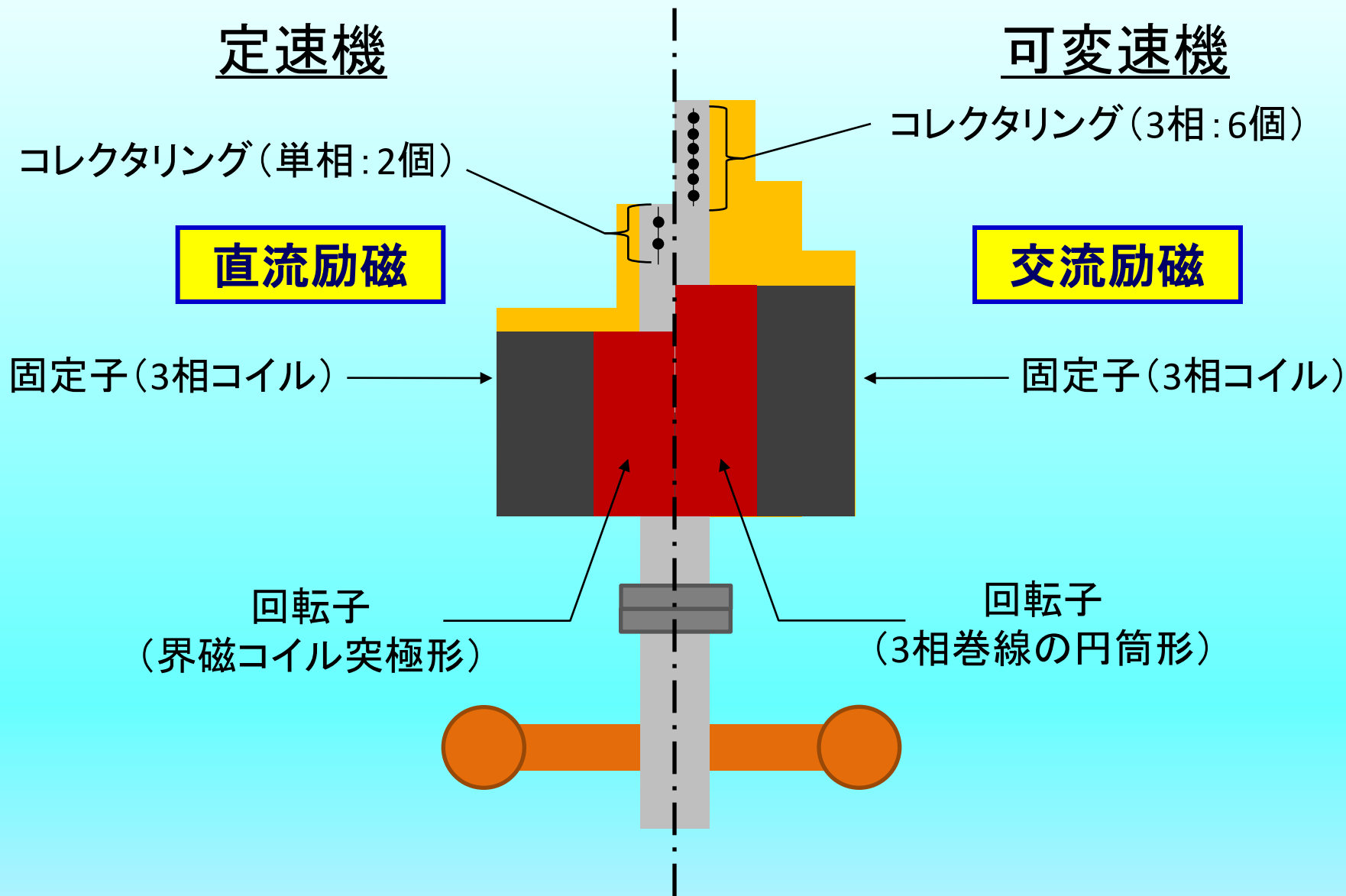
★太陽光・風力が秒単位で
18%変動しても対応可能

再生エネルギー予想

$$3290 \text{万kW} \times 0.181 = 597$$

	設備容量 (万kW)			想定平均出力 (万kW)		
	太陽光	風力	計	太陽光	風力	計
2020年度	2800	490	3290	336	108	444
2030年度	5300	660	5960	636	145	781

定速機から可変速への改造



高見発電所(北海道電力、揚水発電)



1号ユニット
定速形発電機

2号ユニット
可変速形発電機

内容

- 究極の高効率発電
高温形燃料電池の適用
- 自然エネルギーの円滑な活用
太陽電池と風車の出力変動の吸収
可変速・可変ピッチ水車による揚水発電
- **自然エネルギー活用推進**
波力発電
- まとめ

波力発電と電動漁船



海に囲まれる日本で**波力のエネルギー**は膨大

→ 波力エネルギーの有効活用

- ・**漁船を電動化し波力で充電する。**
- ・**CO2削減と燃料費を無くすことによる沿岸漁業の活性化**

<課題>

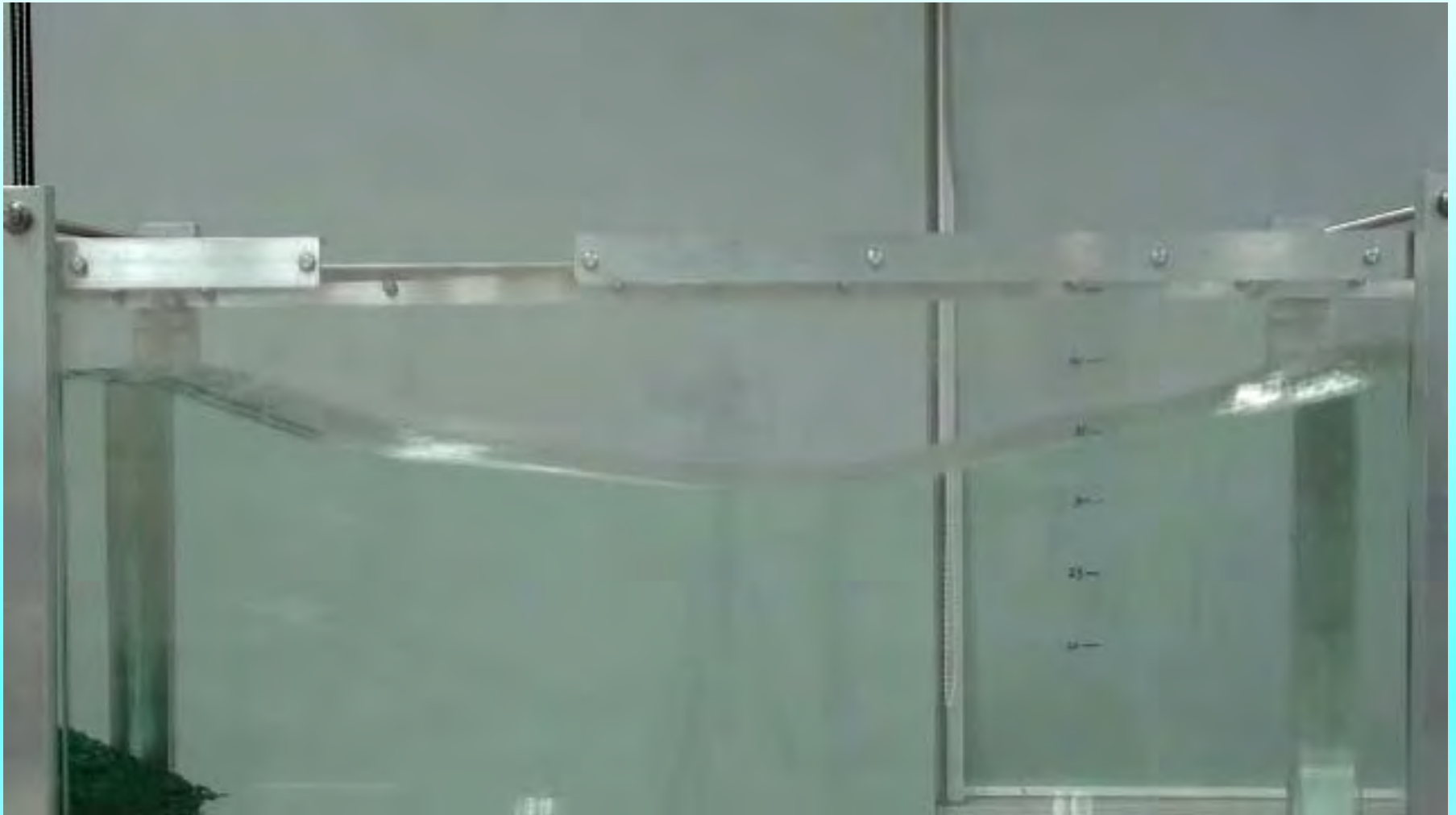
- ・共振現象を利用した効率的な発電

実験水槽全景



生産技術研究所：金子祥三研究室・橋本彰研究室

波形例 (T=1.15s)



生産技術研究所：金子祥三研究室・橋本彰研究室

浮体の挙動(近景): 波形(T=1.15s)



生産技術研究所: 金子祥三研究室・橋本彰研究室

内容

- 究極の高効率発電
高温形燃料電池の適用
- 自然エネルギーの円滑な活用
太陽電池と風車の出力変動の吸収
可変速・可変ピッチ水車による揚水発電
- 自然エネルギー活用推進
波力発電
- **まとめ**

まとめ

- 高温で使用する**固体酸化物形燃料電池(SOFC)の適用**で高い発電効率が期待できる。

- ・トリプル複合発電システム：72%
- ・石炭ガス化と組合せ：58%
- ・従来形LNG火力と組合せ：55～60%

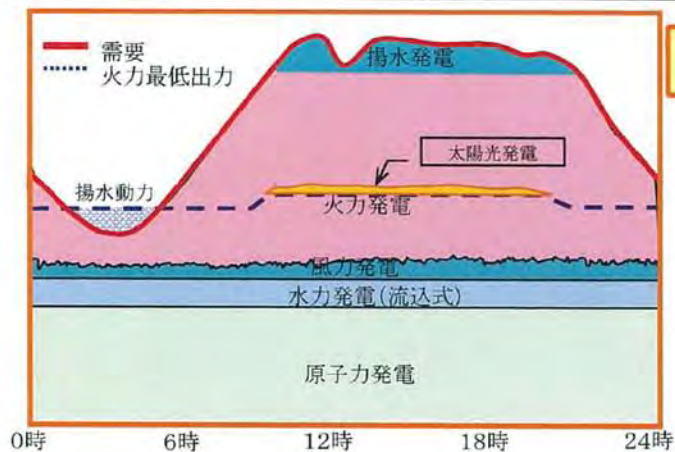
上記システムを日本の火力発電所に採用し、平均発電効率を43%から60%に向上すると約0.6億トンのCO₂削減が可能。

- SOFC実用化の最大の課題は**量産技術**であり、**2030年**を目標とする**エネルギー基本計画**に貢献することが期待できる。
- 太陽光、風力発電の発電量変動については揚水発電を全て**可変速・可変ピッチ水車**にすることで対応することが出来る。
- **波力発電**の実現を目指す。

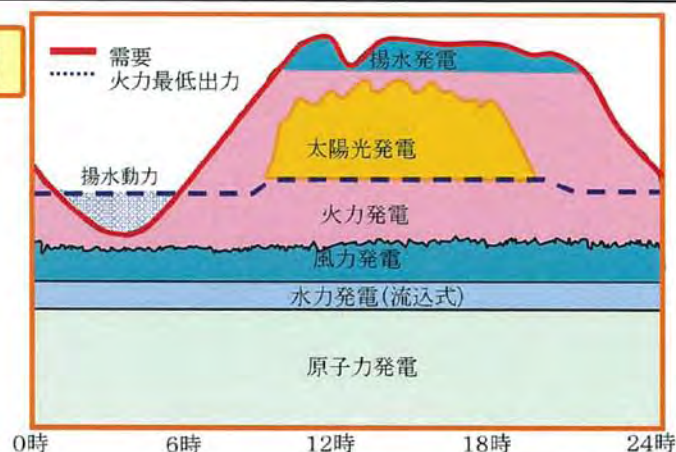
御清聴ありがとうございました

(参考) 課題③: 余剰電力の発生

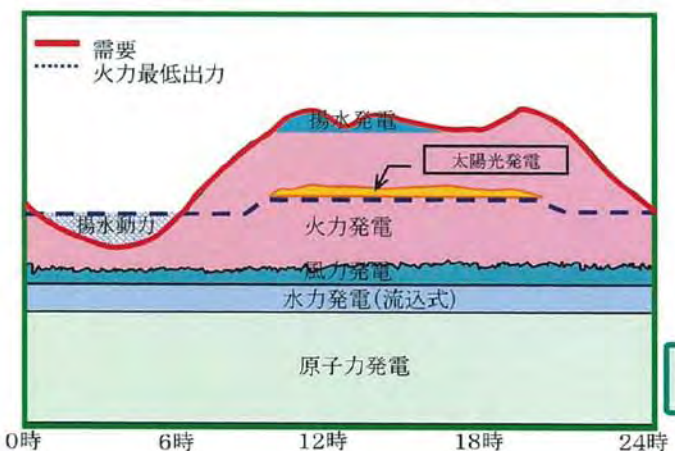
- 太陽光発電が増加すると、需要の少ない時期(軽負荷期)に、ベース供給力(原子力、水力、火力最低出力)等と太陽光による発電量が需要を上回り、電力の余剰が発生するおそれ。
- 太陽光発電が増加すると、系統側の電源設備・流通設備とも稼働率が低下し、電源・流通双方でコストアップが発生。



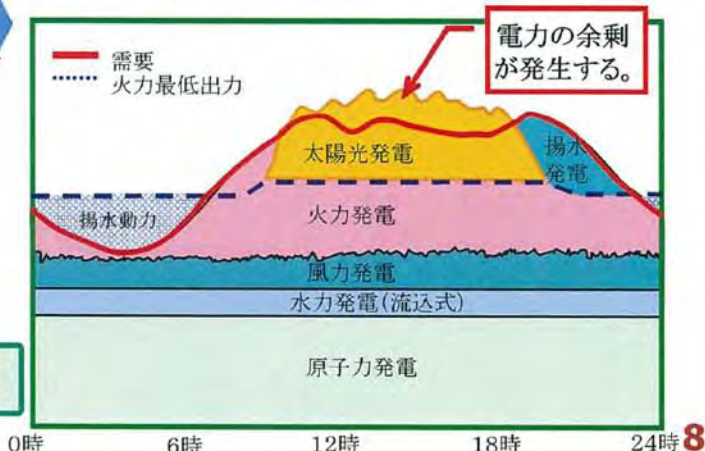
重負荷期



太陽光
大量導入
ケース

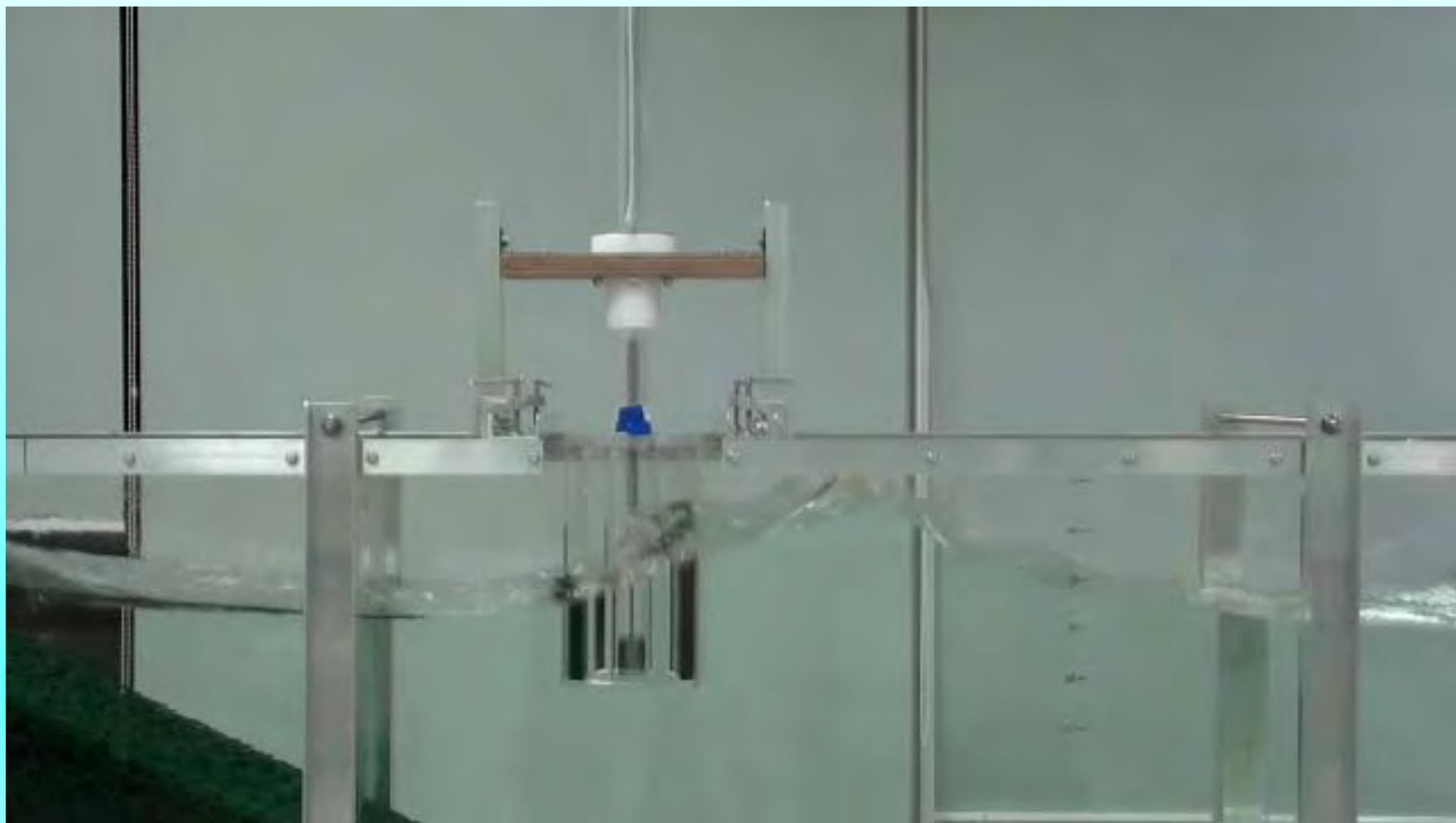


軽負荷期



既設火力の最低出力低減が必要

浮体の挙動(遠景): 波形(T=1.15s)



生産技術研究所: 金子祥三研究室・橋本彰研究室