

2019年度NEDO次世代電池・水素成果報告会

発表No. H1-10

水素利用等先導研究開発事業(水素先導)/ 超高効率発電システム基盤技術研究開発/ 酸素水素燃焼タービン発電システムの研究開発

発表者名 壹岐典彦*

団体名 *国立研究開発法人 産業技術総合研究所、
国立大学法人 東京工業大学、
一般財団法人 エネルギー総合工学研究所、
川崎重工業株式会社

発表日 2019年7月18日

連絡先
産業技術総合研究所
E-mail: n-iki@aist.go.jp
TEL: 029-861-7255

事業概要

1. 期間

開始 : 2018年 6月

終了(予定): 2020年 2月

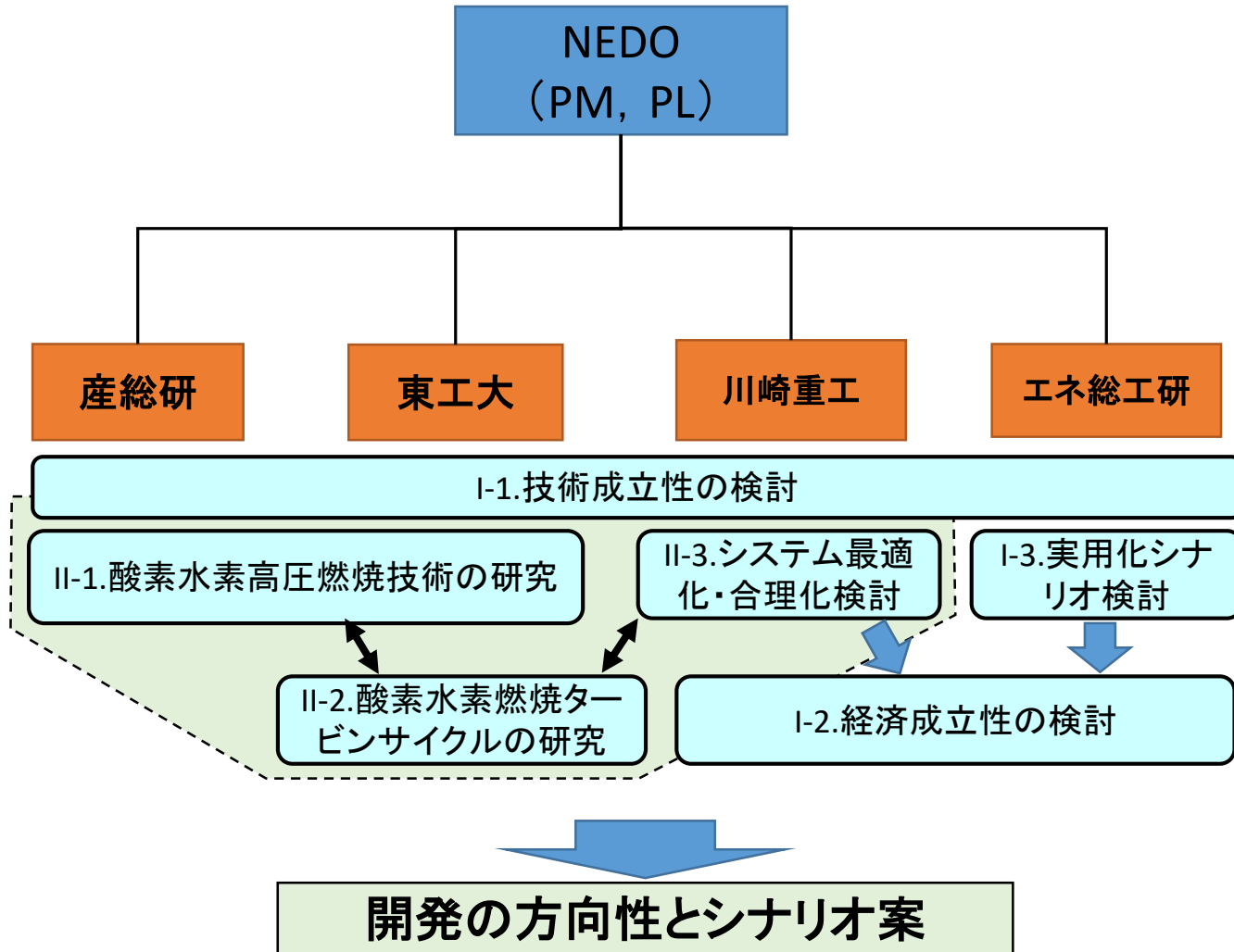
2. 最終目標

本事業では、2050年シナリオにおける水素発電の革新技术として、酸化剤に純酸素を用いる酸素水素燃焼タービン発電システムによるエミッションフリーと高効率化を実現する。

3. 成果・進捗概要

本事業において、次世代発電システムとして期待される酸素水素燃焼タービン発電システムについて、目標の効率となる発電端75%(LHV)を実現するサイクルをシステム解析により示し、次に、システムのコストを見積もった。この結果、これまで課題と考えていた燃焼器とタービン翼に加え、現状技術では、高圧蒸気タービン用熱交換器に技術とコスト面で課題があることが分かった。その上で、できるだけ効率の低下をおさえつつコスト上昇となる要因を合理化し、サイクルのメリットを活かせるシステムの提示と、高効率システムを具現化するために必要な技術的な研究課題の抽出を行ってきた。さらに、技術的な検証のための燃焼実験の実施で大きな課題であった大希釈された環境での酸素水素の着火と保炎について、数値解析と容器内での実験により確認を行った。

研究開発項目と研究体制



酸素水素燃焼タービン発電システムの特徴

酸素と水素の直接燃焼によって現行のボイラでは達成できない高温高压の作動媒体（水蒸気）を作れるため、基本的な設備構成はコンバインドサイクルであるが、ボイラ部分を燃焼器で置き換えることで高温高压条件を有効に利用できる発電システムとなる。

1. 燃焼生成物が水(蒸気)のみ (エミッションフリー)

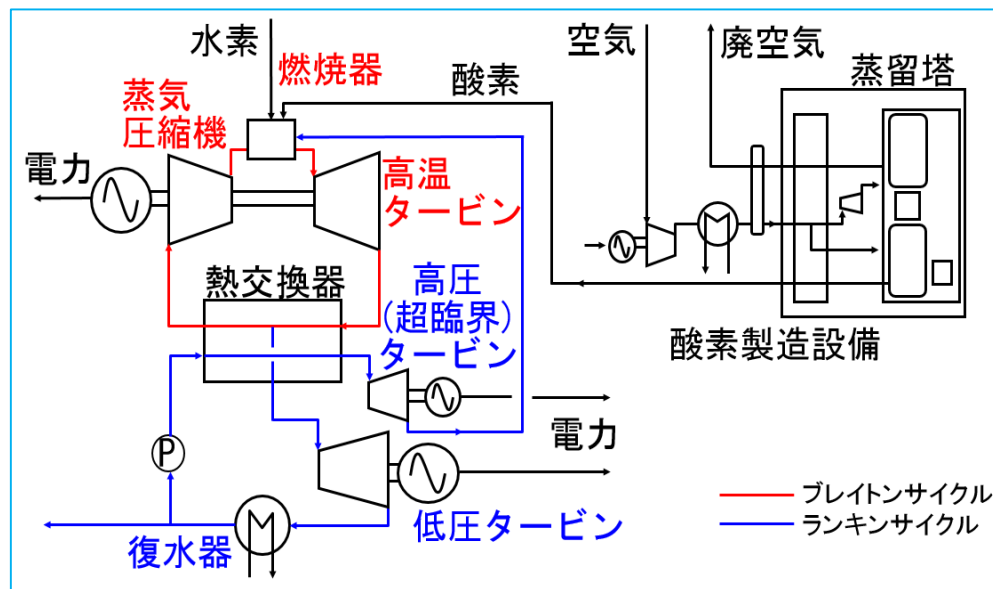
純酸素と純水素の完全燃焼により、 CO_2 、 NO_x 、 SO_x の発生がない。

2. 発電効率の高効率化

直接燃焼による水蒸気を作動媒体とすることでランキンサイクルとブレイトンサイクルを統合した全く新しいクローズドサイクルを実現し、高効率化を図る。

3. 内燃蒸気タービン

巨大なボイラを燃焼器に置き換えることで、内燃機関となり、高温高压の作動媒体を有効に利用できる発電となる。



酸素水素燃焼タービン発電システムフロー

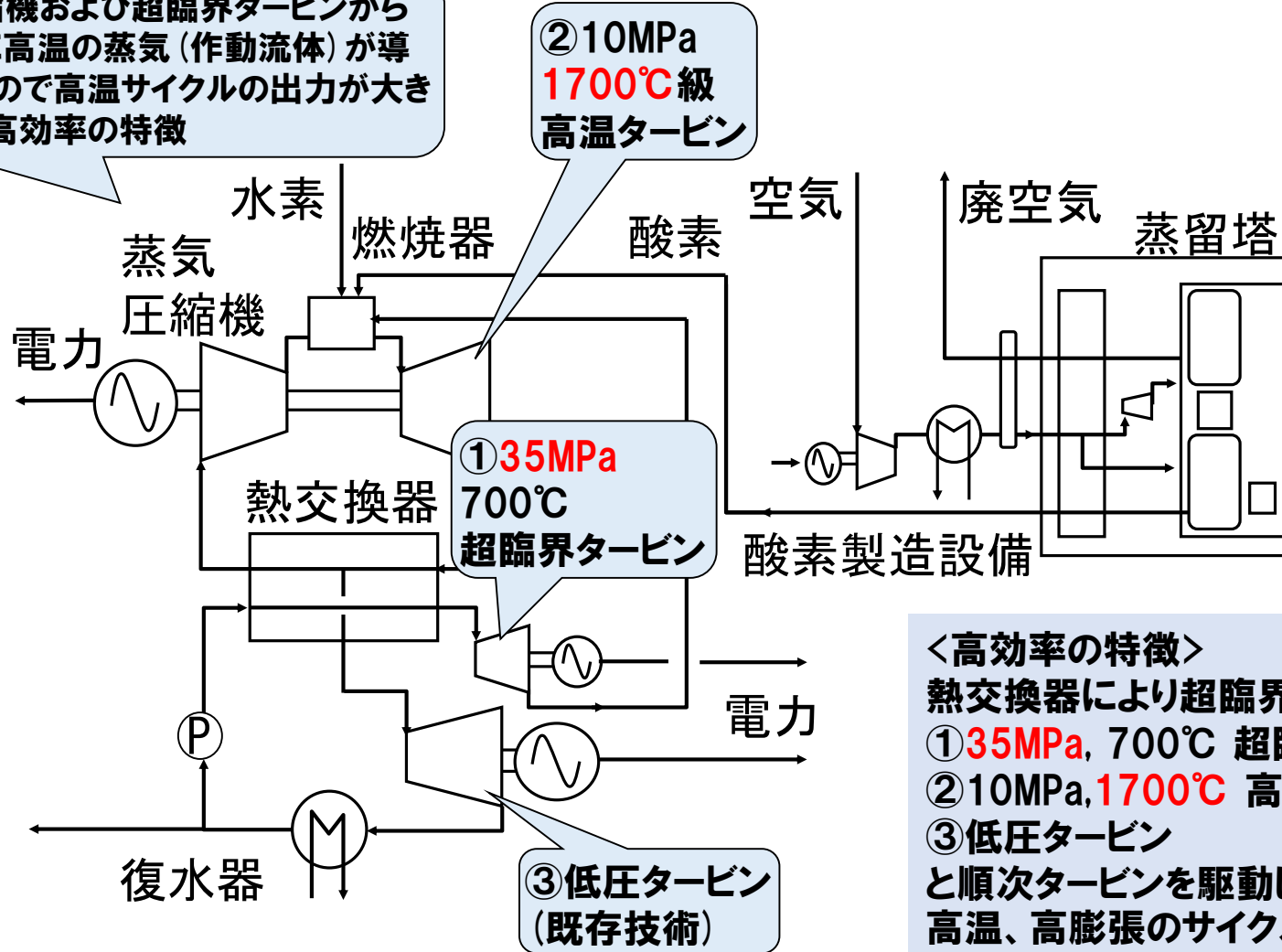
<効率検討のポイント>

- ✓ エクセルギー解析を活用したサイクル選定
GTCCに比べて高い発電効率を実現できる最適サイクルの選定
- ✓ トータルシステムとしての高いエネルギー効率の実現

発電端効率75%（LHV）を実現するサイクルの探索（1/2）

1700℃級効率訴求型 高効率の特徴

蒸気圧縮機および超臨界タービンから
燃焼器に高温の蒸気（作動流体）が導
入されるので高温サイクルの出力が大き
いことも高効率の特徴



＜高効率の特徴＞

熱交換器により超臨界蒸気を製造

① 35MPa, 700℃ 超臨界タービン

② 10MPa, 1700℃ 高温タービン

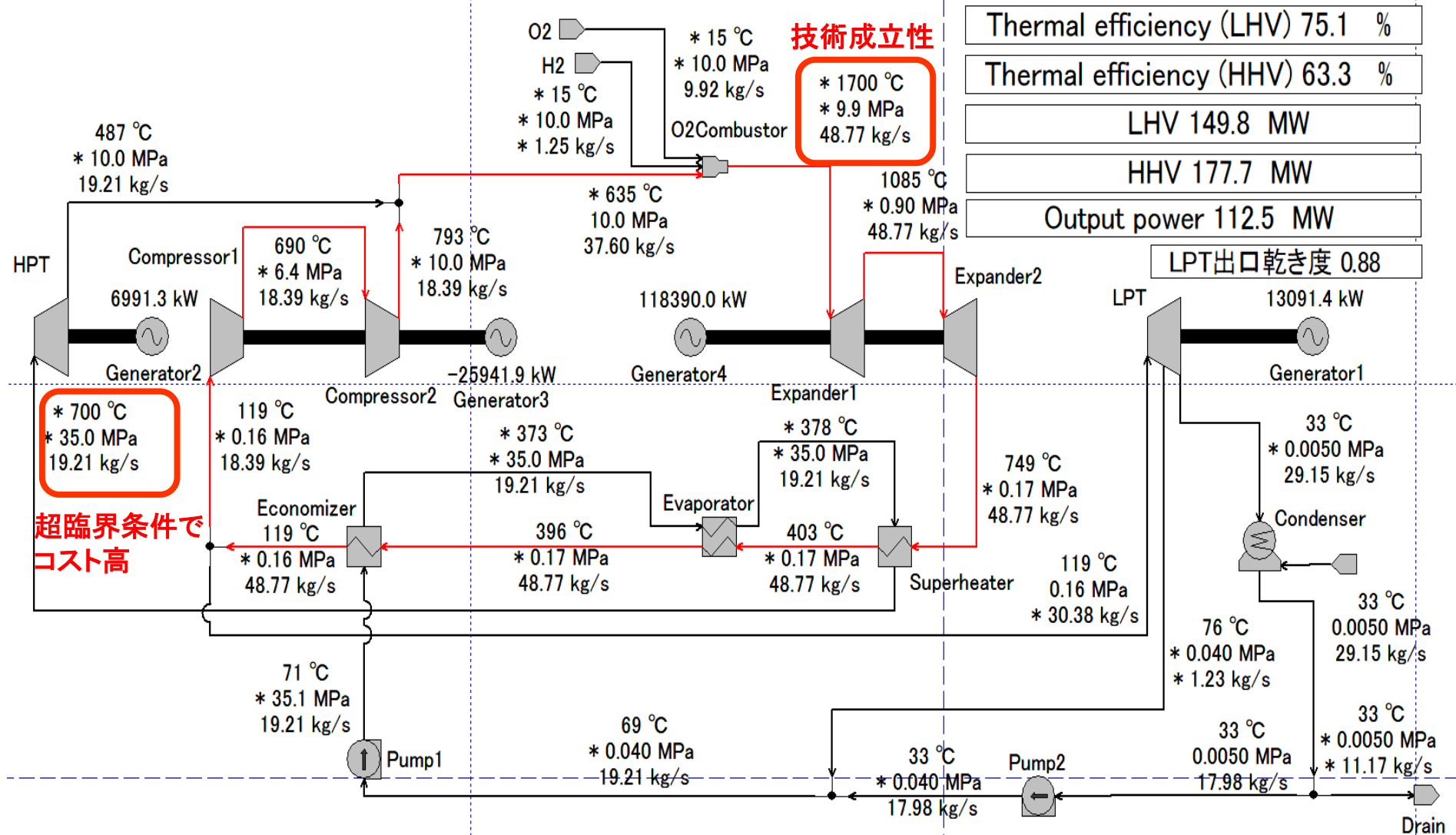
③ 低圧タービン

と順次タービンを駆動し

高温、高膨張のサイクルを実現

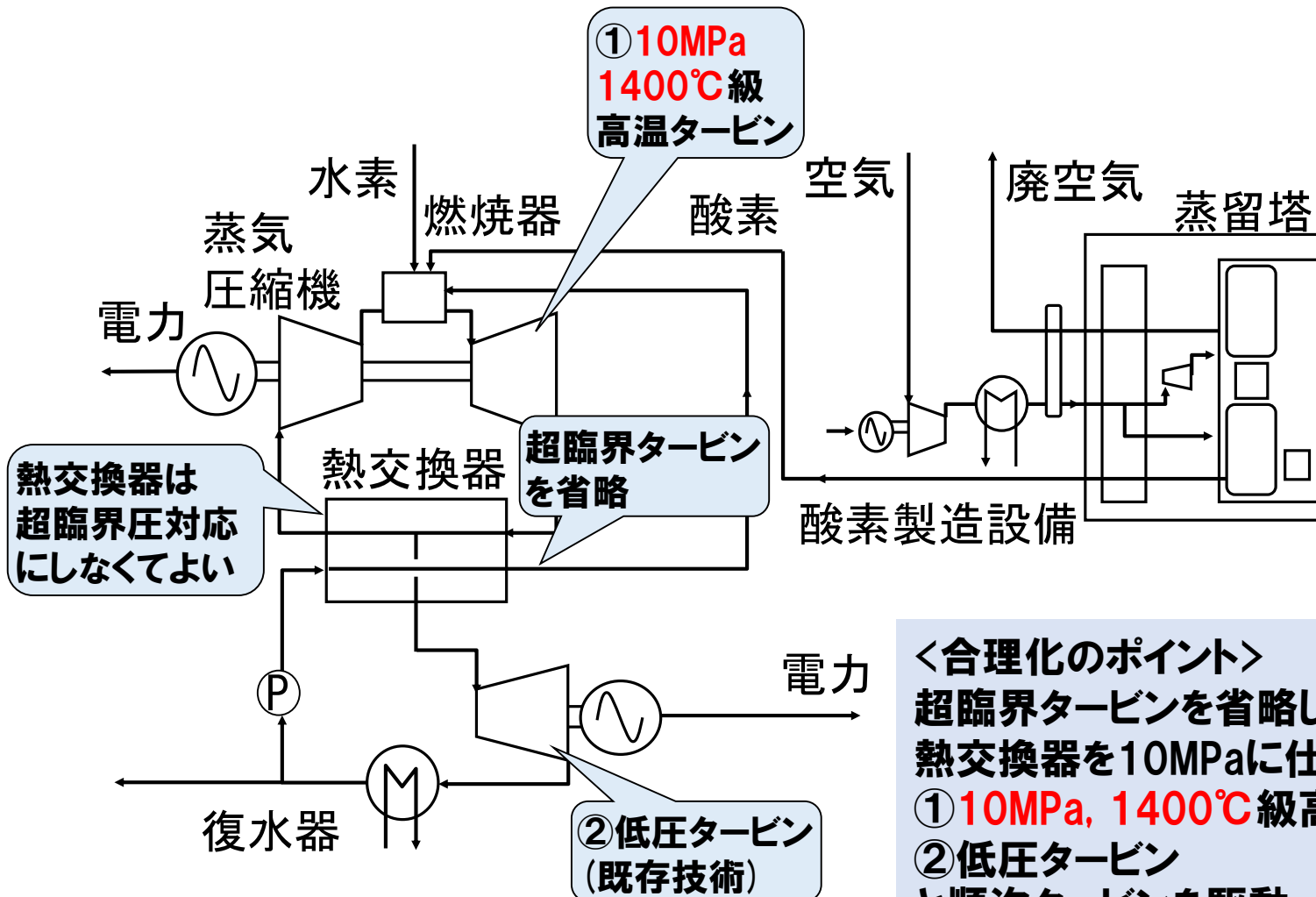
発電端効率75%（LHV）を実現するサイクルの探索（2/2）

発電端効率75%の酸素水素燃焼タービンサイクル



酸素水素システムの特徴を活かした合理化案（1/2）

1400℃級合理化案 合理化のポイント



<合理化のポイント>

超臨界タービンを省略し

熱交換器を10MPaに仕様を変更

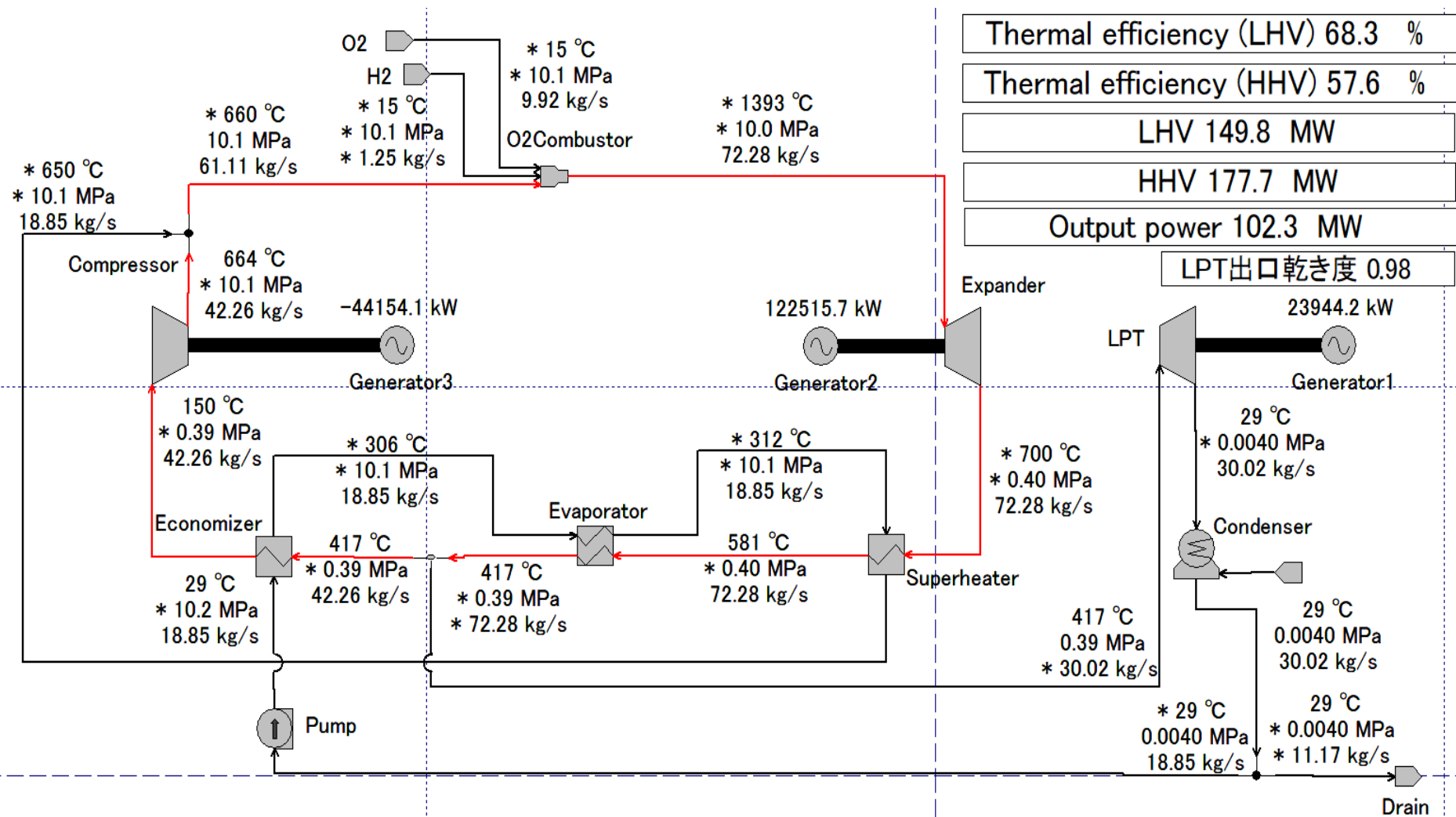
① 10MPa, 1400℃級高温タービン

② 低圧タービン

と順次タービンを駆動

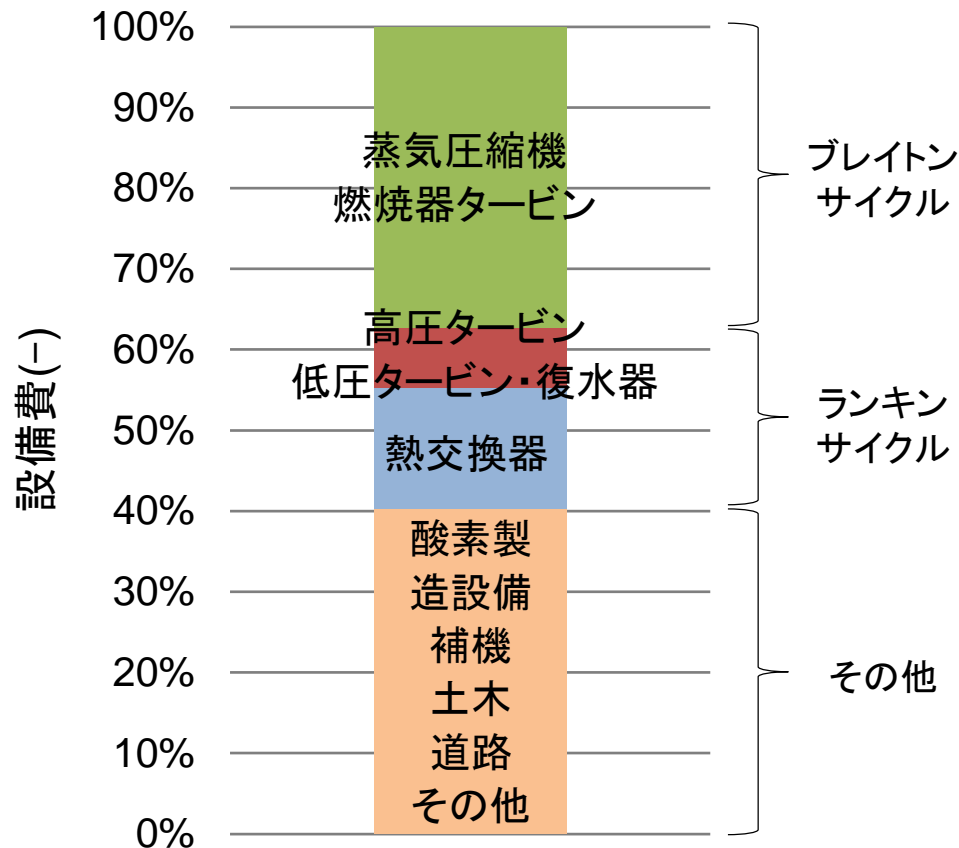
酸素水素システムの特徴を活かした合理化案 (2/2)

酸素水素燃焼タービンサイクル合理化案 (1400℃, HPTなし)



システム最適化・合理化検討

酸素水素タービン設備費検討結果



酸素水素タービン
(1400℃級合理化案)

**「1700℃級効率訴求型」および
「1400℃合理化案」について
設備費検討を実施**

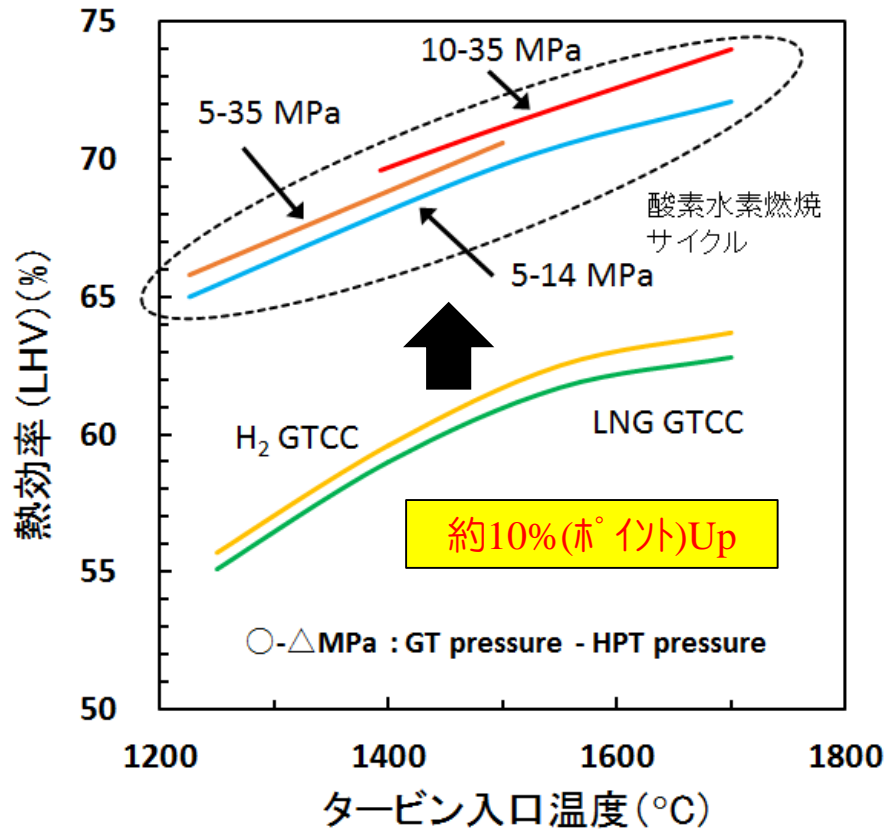
(左図は「1400℃合理化案」の検討結果)

**システム仕様と設備費の関係を
把握**

**「1400℃合理化案」について
大幅な設備費低減を確認**

酸素水素燃焼タービンサイクルのメリット

熱効率(LHV)とタービン入口温度の関係



- 酸素水素燃焼タービンサイクルはGTCCより約10%（ポイント）熱効率が高い。
- 1400°Cでも1700°C級GTCCより熱効率が**高い**。
- 燃焼圧力（5MPa or 10MPa）の差は僅か。
- 燃焼のエクセルギーロスが最も大きい（改善の余地あり）。
- LNGを水素に置き換えても、GTCC（**空気燃焼**）の熱効率はほとんど変化しない。

発電システム全体の効率の試算

酸素製造装置をはじめとする付帯機器の検討を行い, 所内動力・送電端性能等を明確化

項目	1700℃級 効率訴求型	1400℃級 合理化案	単位
発電端性能			
発電端出力	112,500	102,300	kW
発電端効率	75.1%	68.3%	LHV%
水素、酸素消費量			
水素発熱量	10,790	10,790	kJ_LHV/Nm ³
水素消費量	149,800	149,780	kW_LHV
水素消費量	49,980	49,973	Nm ³ /h
酸素消費量	24,990	24,987	Nm ³ /h
所内動力			
所内動力小計	17,902	17,313	kW
送電端性能			
送電端出力	94,598	84,987	kW
送電端効率	63.1%	56.7%	%LHV

(ご参考)
100MW級GTCC
の送電端効率例
52.6%LHV

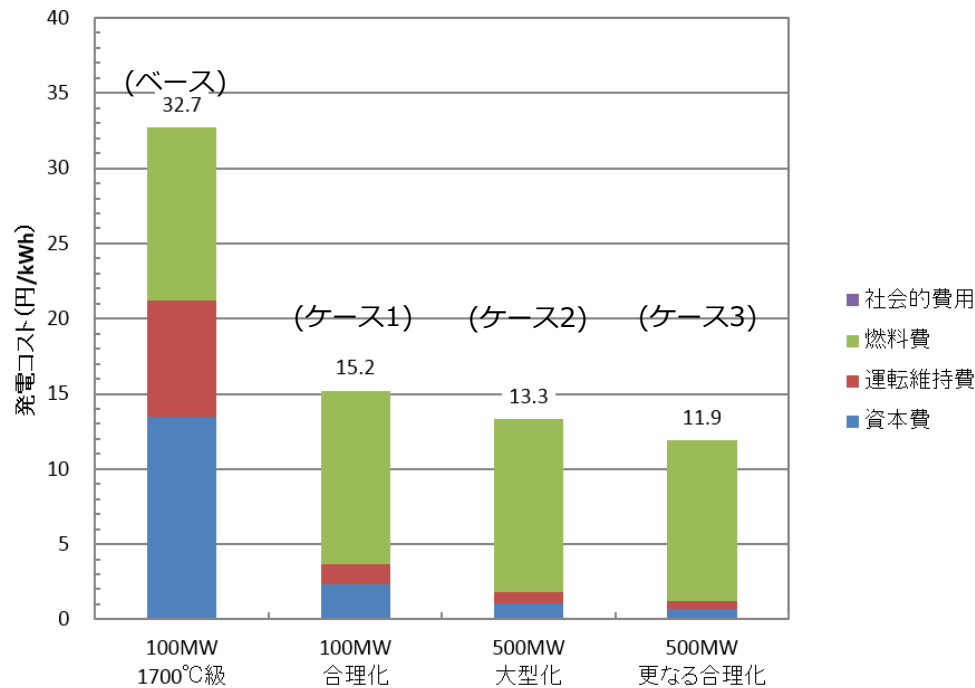
経済成立性の検討

効率75%の1700℃級発電システムの発電コスト低減策の検討（経済性確保の見通し）

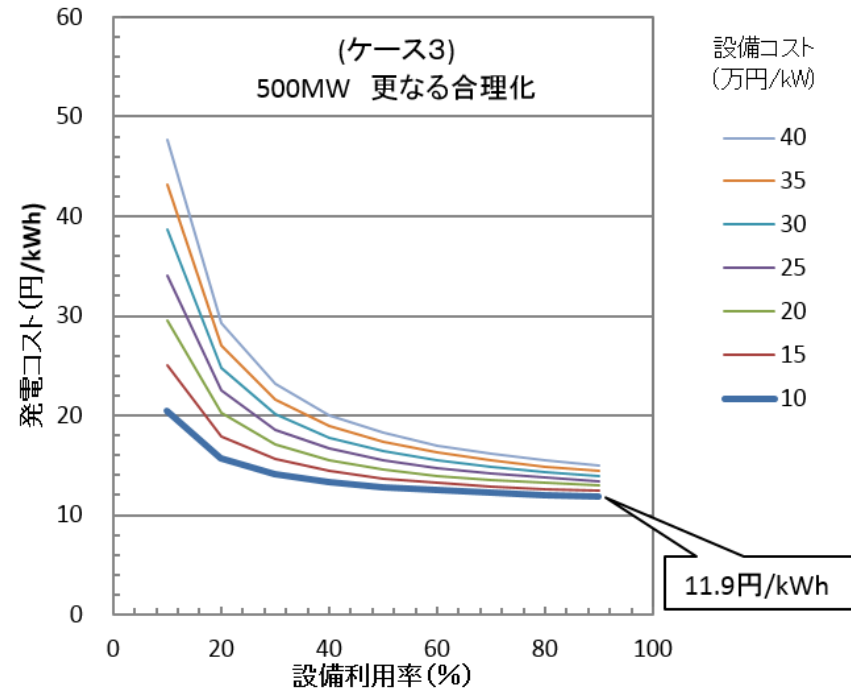
ベース	： 効率75%、1700℃級の100MWシステム	→ 32.7円/kWh
ケース 1	： 熱交換器コストを大幅削減して建設費を合理化	→ 15.2円/kWh
ケース 2	： 100MWから商用規模の500MWにスケールアップ	→ 13.3円/kWh
ケース 3	： 建設費と所内率の低減化による更なる合理化	→ 11.9円/kWh

目標とする「発電コスト12円/kWh以下」を達成するためには、想定している酸素水素燃焼器やタービンなどの主要機器の他にも、発電システムの構成設備費や所要動力などの低減化につながる技術開発が不可欠。

開発対象は、高温・高圧熱交換器、酸素製造設備、他



発電コスト試算



設備利用率と発電コスト