2019年7月19日

2019年度 NEDO次世代電池・水素成果報告会
資料番号H2－1

水素社会構築技術開発事業／

水素エネルギーシステム技術開発／

北海道に於ける再生可能エネルギー由来不安定電力の水素変換等による安定化・貯蔵・利用技術の研究開発

豊田通商株式会社（代表）
株式会社NTTファシリティーズ
川崎重工業株式会社
株式会社フレイン・エナジー
株式会社テクノバ
国立大学法人室蘭工業大学

実証取組概要について

1.研究期間：平成２７年２月～終了：平成３1年6月

2.最終目標：

【A】事業成立性を加味したPtoG事業の**「将来ビジネスプラン策定・経済性評価実施」**
将来のありたい姿(コスト・効率の観点)を描きながら、実証中にて取組むべき重点開発項目整理

＊将来ビジネスプランの狙い＊
(1)2030年全量買取契約終了後のFIT切れ風力が顕在化する事を想定
出力変動の激しい風力発電分を**“最適電力分配”**
「**安定部分**：電解用に配分し、**水素製造・貯蔵・輸送・利活用**(PtoG事業構築)」
「**不安定部分**：系統に**売電**」

＊風力の不安定部分を系統に売電する際、**風況予測**を活用する事で、**インバランス発生**を**抑制**
系統への**負荷低減**を図る⇒**風力利用率向上**・**風力導入量拡大**

(2)FIT切れ風力を活用した**「コスト競争力の高い水素製造・販売」**・
および**「グリーン電力販売」**とを抱き合わせ“**事業成立性のあるシステム構築**”を図る

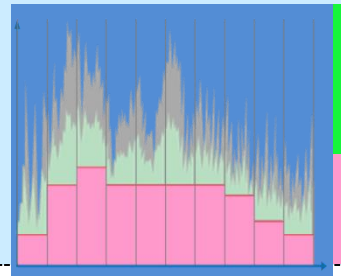
【B】**現地環境に適合したPtoGシステム構築**を図る
実証にて取得した各機器効率・コストデータ等を、将来の目標値と比較し、課題と対策を整理

実証取組概要について

①実証の狙いは、**2030年FIT切れ風力**が**顕在化・有効活用**する事を想定
②**「グリーン水素製造・販売」**・**「系統向けグリーン電力販売」**の抱き合わせ事業実現に向け、必要となる技術開発を実施

■グリーン水素製造販売
FIT切れ風力の**安定部分**を電解用に分配し、水素製造・利活用
「PtoG事業構築」

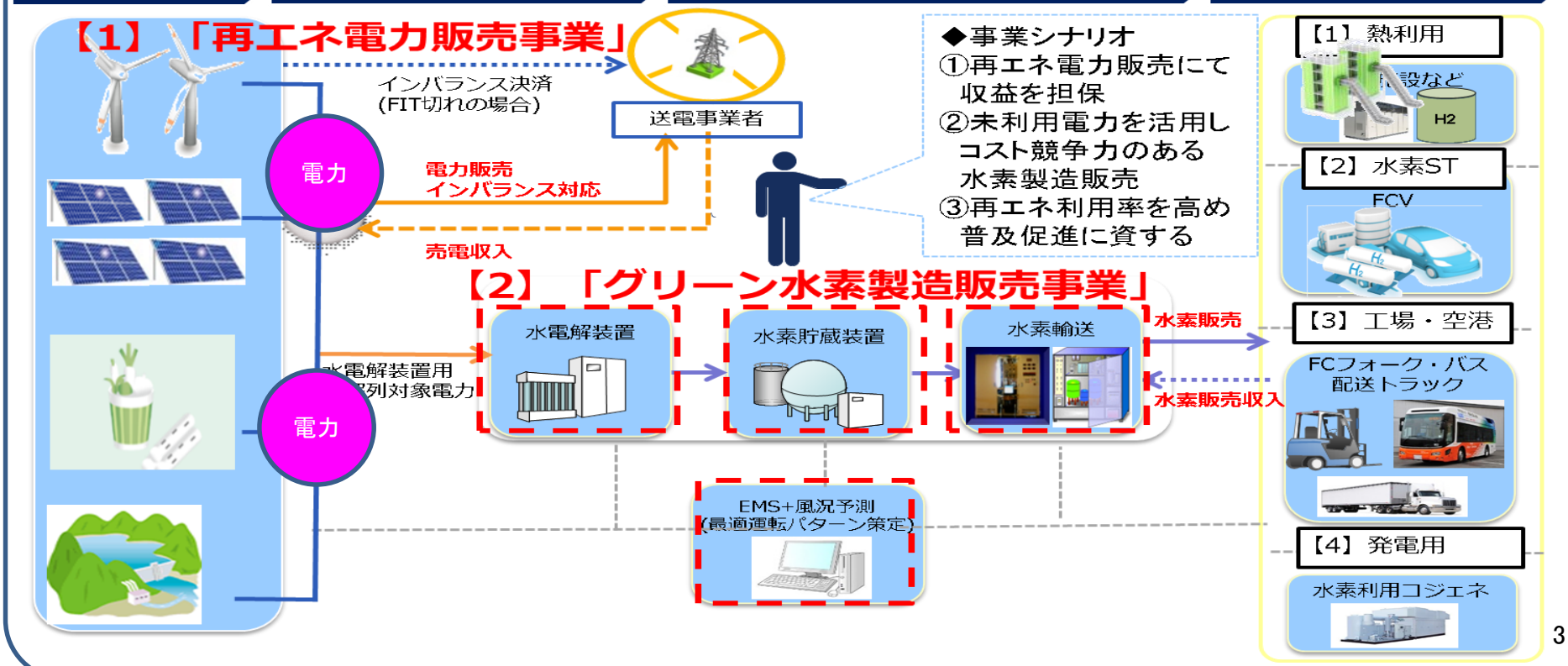
■グリーン電力販売
FIT切れ風力の不安定部分を「電力会社向け売電」
風況予測にて**インバランス回避**



売電用
「一部安定部分＋
不安定部分」

電解用「安定部分」

***KFS*：競争力の高い未利用電力確保／環境性能ニーズの高い需要家発掘**

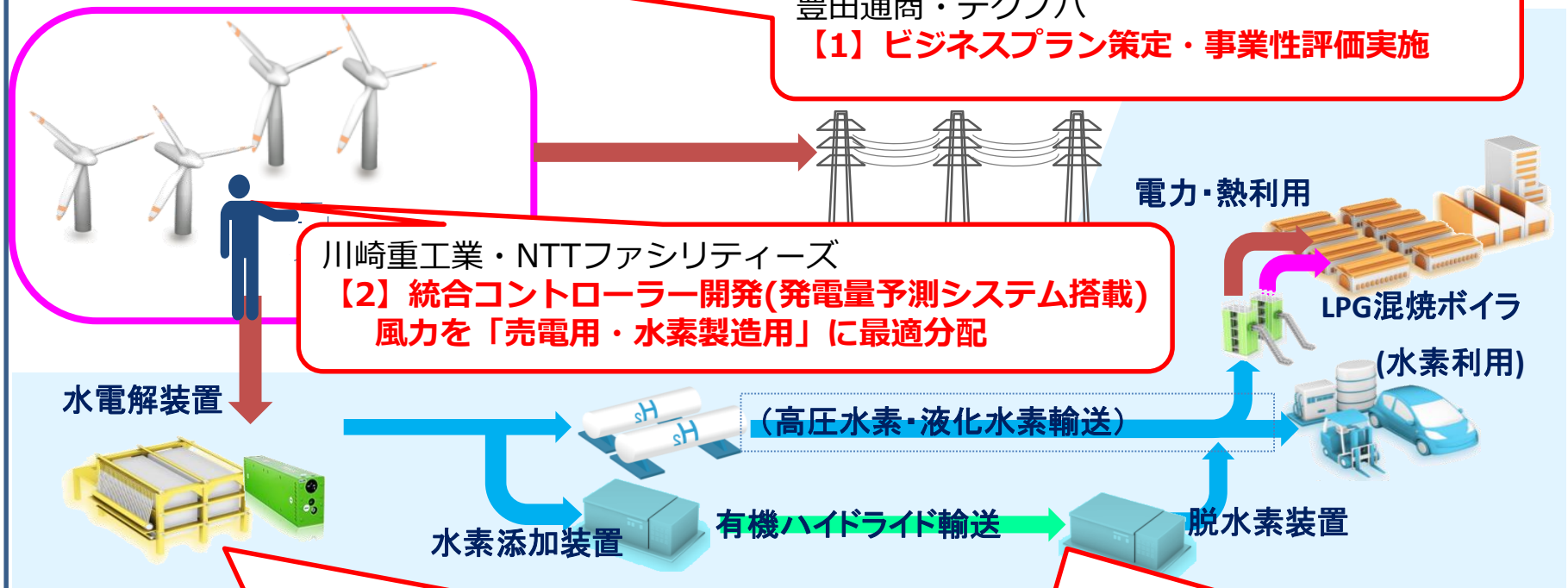


実証取組概要について

◆システム各パートの役割

①**発電量予測システム**により、現地風況データに基づき風力の**発電量予測実施**(運転の前日)
②発電量予測値を**統合コントローラー**に入力し、**「売電用・水素製造用」**に**電力最適分配**
③**電解(水素製造システム)**にて水素製造
④**水素添加装置**にて水素とトルエン吸着⇒輸送⇒**脱水素装置**にて水素とトルエン脱着
⑤水素をLPG混焼ボイラー(実証モデル)／水素ステーション(将来モデル)向けに供給

Power to Gasシステムイメージ図



豊田通商・テクノバ
【1】ビジネスプラン策定・事業性評価実施

川崎重工業・NTTファシリティーズ
【2】統合コントローラー開発(発電量予測システム搭載)
風力を「売電用・水素製造用」に最適分配

川崎重工業
【3】水素製造システム開発
変動電力及び水素添加装置への負荷変動に対応

フレイン・エナジー、室蘭工大
【4】脱水素装置開発
搭載する反応管内の高性能触媒化

将来モデルの考え方について

◆道内水素需要ポテンシャルについて
①道内路線バス3,500台の内、少なくとも40%以上が札幌-千歳地域に存在
②**札幌-千歳空港間**は、計53往復/日の定期便が往来⇒1台あたり1日3トリップ「300km」/**18台必要**
③1台あたり300km/日を走行する場合、水素需要22kg/日⇒**水素需要396kg/日**=18台×22kg/日

◆道内水素製造ポテンシャルについて
④水素製造コストを抑える為には、大規模風力の安価なグリーン電力が必要となる為、大型風力を調査
⑤道内の**大型風力サイト10MW以上**⇒**11箇所**(2030年以降、FIT切れになる可能性有)

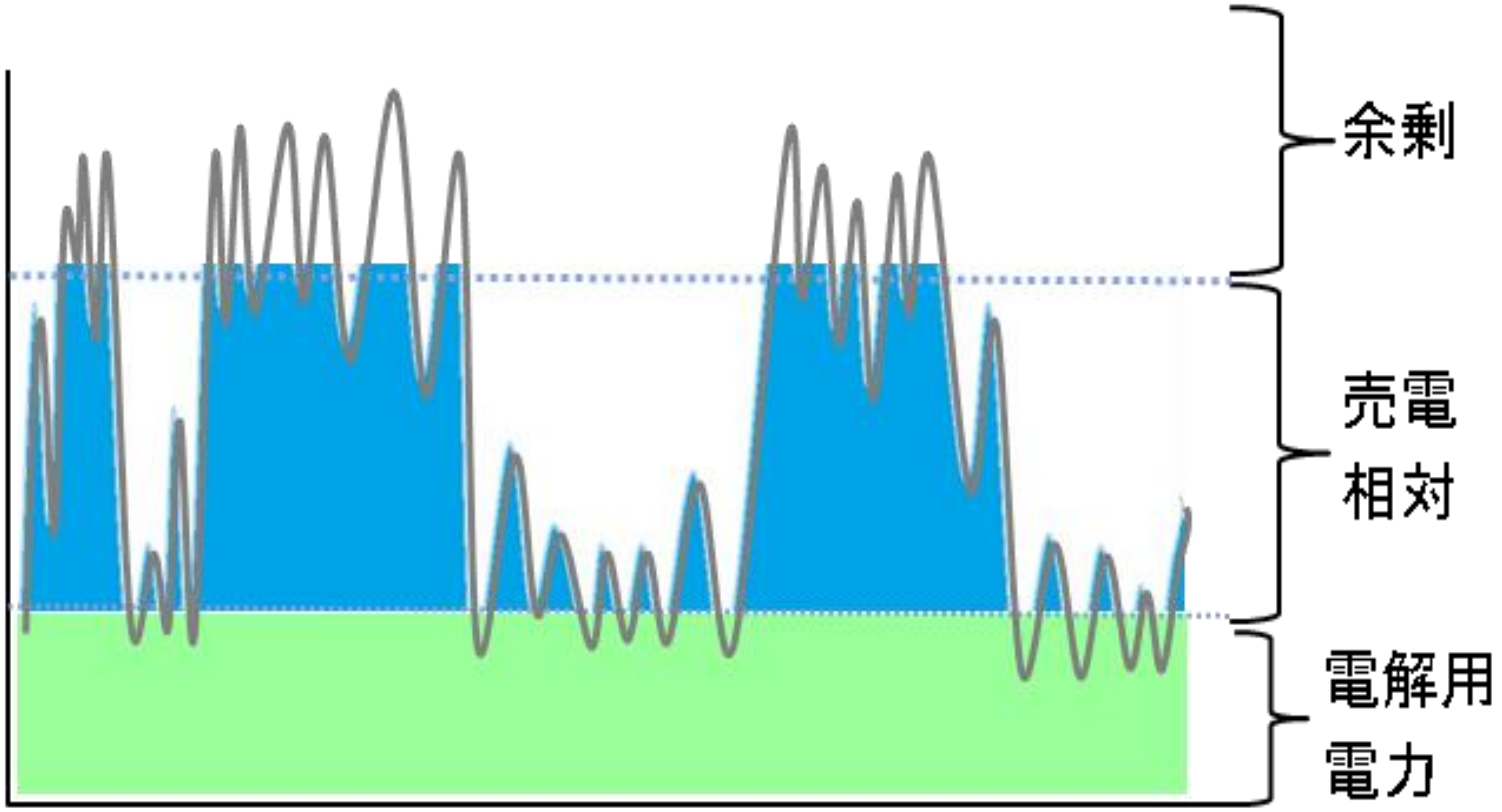
地域	サイト	総出力	稼働年
道北	稚内	57MW	2005年
道南	上ノ国町	25MW	2014年
道北	苫前町	23MW	2000年
道南	江差町	21MW	2001年
道北	幌延町	21MW	2001年
道北	苫前町	20MW	1999年
道南	江差町	20MW	2011年
道南	伊達市	18MW	2017年
道南	伊達市	16MW	2017年
道北	稚内市	15MW	2001年
道南	伊達市	10MW	2011年

出所：NEDO「日本における風力発電設備・導入実績」(2018年3月末現在)参照

将来モデルの考え方について

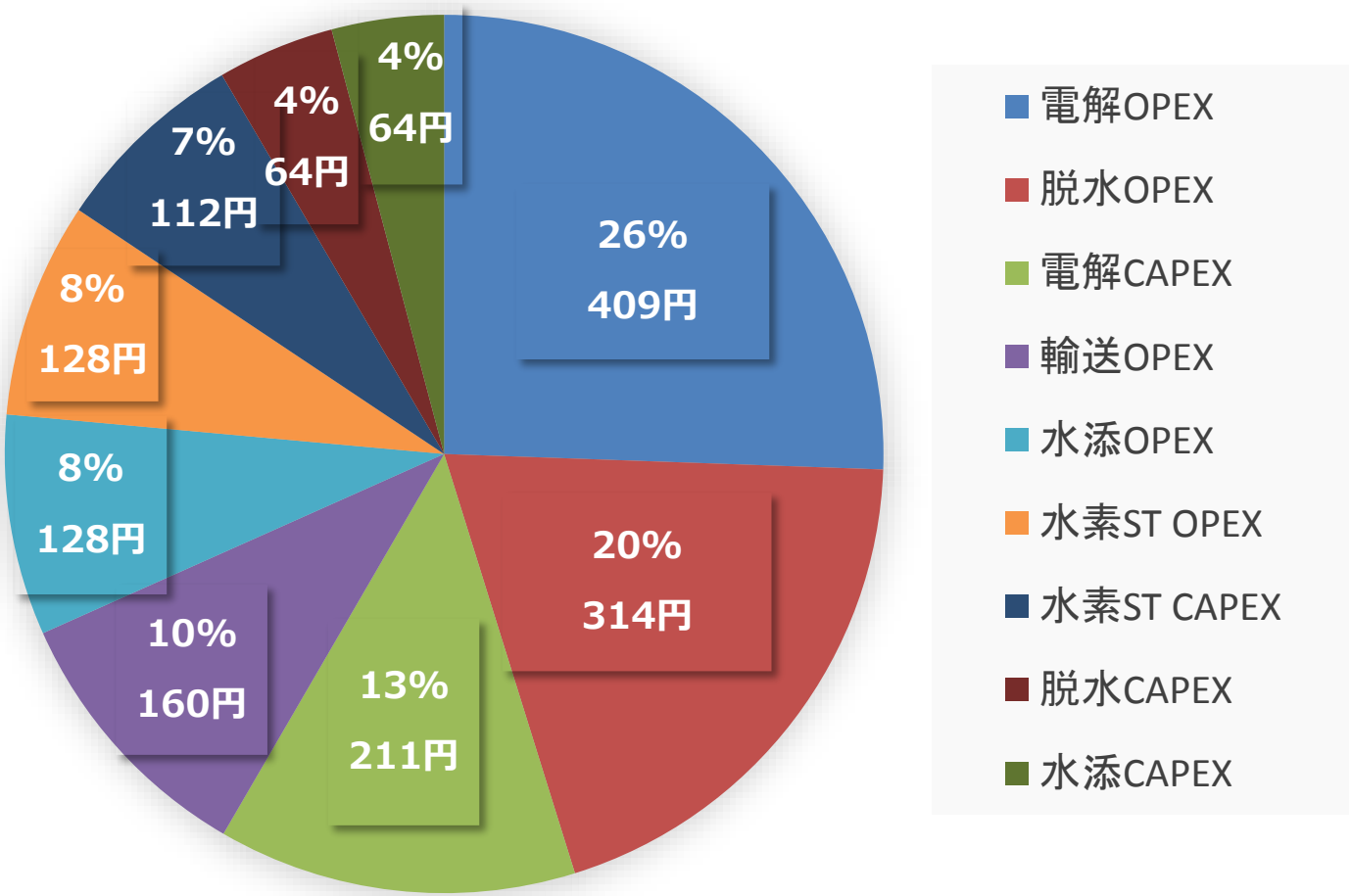
◆将来モデル経済性評価の前提条件
①道内FIT切れ風力20MW/風力利用率24%/風力発電量4.8MWh
②水素製造用の電解用電力量2MWh(FCバス水素需要を満たすには電解2MW必要)⇒風力安定部分を分配
③売電量2.8MWh⇒風力不安定部分を分配
④インバランス発生量0.1MWh⇒風況予測を掛けインバランスを極力回避・系統安定化に資する

風力電力分配のイメージ図



将来モデルの考え方について

◆将来モデル経済性評価実施
①水素製造コスト1,600円/kg (水素販売価格1,600円/kg)
②**電解OPEX409円**・**脱水素OPEX314円**・**電解CAPEX211円**・輸送OPEX160円・**水添OPEX128円**
水素ST OPEX128円・水素ST CAPEX128円・**脱水CAPEX112円**・**脱水CAPEX64円**・**水添CAPEX64円**
＊上記の内、実証における重点開発取組項目は赤字部分



実証重点取組内容・結果について

◆電解OPEX低減に向けた取組　[評価]事業化に向けた目途付け：△
①**電解OPEX低減**の為、**電解効率向上**を図る必要有、狙い値(定量面)・施策(定性面)は下記の通り
定量面：水素原単位に関する**実証値「6.7KWh/Nm³」**⇒**将来値「6.0KWh/Nm³」**
定性面：実証にて実現した高い**電流密度「0.64A/cm²」**を**維持**しつつ、**電圧下げる**事で電解効率向上を図る
圧縮・ガス精製に関わる**機器・補機類**の**消費電力低減**が必要
電解膜の**材質・構造改良・高活性な電極触媒開発**が肝

カテゴリ		現状	将来	実証中の取組内容・将来のありたい姿・今後の課題と対策	
電解OPEX	水素原単位	6.7KWh/Nm³ *膜効率= 4.37KWh/Nm³	6.0KWh/Nm³ *膜効率= 4.13KWh/Nm³	実証中	電解効率向上を図る為、膜・電極の電圧を下げる必要有
					厳冬期において実機を動かし実力値把握・生データ取得 「膜面積1cm²(1セル)の時：**1.819V**・電流密度0.64A/cm²」
					131KW=1.819V×10セル×7,200A ⇒10セル=11.3m²　131KW=18.19V×7,200A ⇒1セル=1.13m²　13.1KW=1.819V×7,200A
					1セルの中の1cm²を見た時：1.16KW=1.819V×0.64A/cm²
				将来	電解効率向上⇒膜・電極の効率向上⇒ 「膜面積1.13cm²の時:1.716V・電流密度0.64A/cm²」
					水素原単位6.0KWh/Nm³を達成する為、 電解効率向上⇒膜・電極の効率向上 1,433KW=**1.716V**×116セル×7,200A ⇒116セル=130.5m²：1,433KW=199.1V×7,200A ⇒1セル=1.13m²　：12.36KW=1.716V×7,200A
					圧縮・精製に関わる機器類や補器類の消費電力低減
				課題対策	電圧を下げる事で、水素原単位の効率を上げる必要有
					膜の材質や構造を改良／高活性な電極触媒の開発
					運転温度や苛性循環流量の最適化

実証重点取組内容・結果について

◆電解OPEX低減に向けた取組　　[評価]事業化に向けた目途付け：△

①**電解OPEX低減**の為、**オペレーション省人化**を図る必要有、狙い値(定量面)・施策(定性面)は下記の通り

定量面：実証中運転員**「2名」**⇒将来運転員**「1名」**体制

定性面：実証にて獲得した**「制御盤操作」・「バルブ操作」**の**運用手順ノウハウ**(*1)を**統合コントローラー**に**落とし込み**、オペレーションの**オートマ化**を具現化する方針

*1：**立上・立下時**の**電解液温度・ガス流量・ガス圧力変化**を**捉え**、**安全性担保**する運用技術

カテゴリ		現状	将来	実証中の取組内容・将来のありたい姿・今後の課題と対策	
電解OPEX	オペレーション	6,000万円/年(水添側と運転費用折半せず)	1,500万円/年(水添側と運転員費用折半)	実証中	実証中は**2人体制**でマニュアル対応の為、**オペレーションコスト増**に繋がった。
					「制御盤操作」・「バルブ操作」の**運用手順を確立**した為、**省人化**の**目途付け**出来た。
					立上・立下における**電解液温度・ガス流量・ガス圧力**の変化を捉えたオペレーションノウハウ(**安全性担保**)を**蓄積**出来た。
					混合気形成回避の為、水素ガス中の酸素ガス濃度を**「1Vol/%以下」**且つ酸素ガス中の水素ガス濃度**「1Vol/%以下」**に設定し、
					温度・圧力の急激な変化をさせてない様に管理
				将来	将来は**1人体制**
					水素圧縮機や除湿精製器等の機器やヒーターやポンプ等の**補機類**の**起動停止タイミング**。**窒素パージ**の**導入/停止**のタイミング。自動弁の開閉タイミングや水素流路の切り替えタイミングや方法。
				課題対策	実オペレーションで培った**ノウハウ**を**統合コントローラー**に**落とし込む**(プログラム化)。

実証重点取組内容・結果について

◆電解CAPEX低減に向けた取組　　[評価]事業者に向けた目途付け：×

①**電解CAPEX低減**の為、**「機器非防爆化(安全性担保しつつ)」・「膜の大型化(電解効率維持しつつ)」**を図る必要有、狙い値(定量面)・施策(定性面)は下記の通り

定量面：実証中電解コスト**「307万円/KW」**⇒将来電解コスト**「22万円/KW」**

定性面：実証にて獲得した「安全性担保したシステム開発技術(*1)」・「膜の大型化(*2)」ノウハウを活用し、商用を見据えた大型電解システムを構築

＊1：「換気」・「水素ガス・酸素ガスの混合気形成を早急に察知するセンサー類の最適配置」「凍結対策用の最適熱コントロール」

*2：大型電解構築の為、**「膜の高さ方向を出し大型化」**を図りつつ、**「苛性循環溶液の流量コントロール」**により、**電極表面**の**気泡付着減じ**、**高い電解効率維持**

カテゴリ		現状	将来	実証中の取組内容・将来のありたい姿・今後の課題と対策	
電解CAPEX	電解装置システム	307万円/KW 電解部分：131KW 電解システム：201KW	22万円/KW 電解部分：1,433KW 電解システム：2,083KW	実証中	**全機器**を**防爆対応化**した為、**コスト増**に繋がった。
					実オペレーションを経験し、**「換気」・「水素ガスと酸素ガスの混合気形成を早急に察知(センサー類の最適配置)」・「凍結対策用の最適熱コントロール」**のノウハウ取得した為、非防爆化の目途付け出来た。
					膜の高さ方向を商用機の電解槽に合わせ実証機に搭載出来た。高さを確保した事で、**膜の大型化**を図り**コストダウン**させる**目途付け**完了
					実証前は、**高さを出す事**により、**電極表面**に**気泡**が**付着**し、**電解効率**の**悪化**を**懸念**していたが、ラボ機の電解効率と同等であり、スケールアップによる電解効率の悪化が無き事確認出来た。
				将来	**水素配管部位以外**を**非防爆化**する事で**コスト削減**に繋げる。
					電解効率を**維持**した上で、**大型化**を実現。
				課題対策	非防爆化・大型化にてシステム構築した上で、実オペレーション実施。更なる大型化においても、電解効率の悪化が無き事を検証。

実証重点取組内容・結果について

◆水素添加装置CAPEX低減に向けた取組　　[評価]事業化に向けた目途付け：△
①**水素添加装置CAPEX低減**の為、**「水添効率向上」**を図る必要有
　狙い値(定量面)・施策(定性面)は下記の通り
定量面：実証にて達成したMCH濃度**「98%以上」**⇒将来の**大型化**水添装置にもてMCH濃度**「98%以上」**
定性面：実証機と同様に大型化しても水添装置内の反応温度を一定に保つ事で、MCH濃度維持

カテゴリ		現状	将来	実証中の取組内容・将来のありたい姿・今後の課題と対策	
水添装置CAPEX	機器コスト	176万円/Nm3	48.6万円/Nm3	実証中	電解規模131kWに合わせた30Nm3/h規模にて実機開発
					変動する**水素供給条件下**、実機にて**MCH濃度98%以上達成**
					MCH循環を活用し、反応熱が有効に除去できることを確認
				将来	**大型化「278Nm3/h」**による**水添CAPEX低減**
					MCH高濃度化条件を明確化し、大規模にてもMCH濃度98%以上確保、安定運用
					MCH循環による反応熱を電解等に有効活用し、システム全体での低コスト化
				課題対策	**大型化**に向けた**設計変更**や汎用部品の使用で低コスト化
					大型化にても**MCH濃度98%以上確保**すべく、**反応温度のバラつき把握・抑制**
					冷却後の排熱を他システムに融通、水電解・水素添加全体システムとして小型化

実証重点取組内容・結果について

◆脱水素装置CAPEX低減に向けた取組　　[評価]事業化に向けた目途付け：△
①**脱水素装置CAPEX低減**の為、**「反応器単管あたり水素発生量の向上」**を図る必要有、
　狙い値(定量面)・施策(定性面)は下記の通り
定量面：反応器単管あたり水素発生量⇒実証目標値**「1.0Nm³/h/L」**⇒将来**「 1.1Nm³/h/L 」**
定性面：**水素発生量向上**に向け**リアクタ**の**小型化**が必要であり、**脱水素触媒**の**高性能化**を実現する方針

カテゴリ		現状	将来	実証中の取組内容・将来のありたい姿・今後の課題と対策	
脱水素装置CAPEX	機器コスト	266万円/Nm3	48.6万円/Nm3	実証中	電解規模131kWに合わせた30Nm3/h規模にて実機開発
					「反応器単管あたり水素発生量1.0Nm³/h/L」達成
				将来	脱水素装置を大型化（278Nm3/h）した上で、**「反応器単管あたり水素発生量1.1Nm³/h/L以上」**達成
				課題対策	大型化に向けた設計変更や汎用部品の使用による低コスト化
					1.1Nm³/h/L以上達成に向け**リアクタ**の**小型化**が必要な為、**脱水素触媒**を**高性能化**

実証重点取組内容・結果について

◆脱水素装置OPEX低減に向けた取組　　[評価]事業化に向けた目途付け ：△
①**脱水素装置OPEX低減**の為、**「トルエン(TOL)消費率向上」**を図る必要有、
　狙い値(定量面)・施策(定性面)は下記の通り
定量面：実証にて達成したTOL消費率**「12%」**⇒将来**「 8%」**
定性面：**TOL消費率8%達成**に向け**触媒高性能化**と**熱伝導性向上**を図る

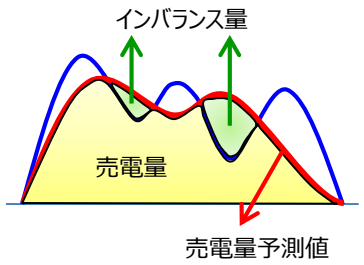
カテゴリ		現状	将来	実証中の取組内容・将来のありたい姿・今後の課題と対策	
脱水素装置OPEX	TOL消費	12%	8%	実証中	外部熱（電気ヒーター）と**TOL消費率「12%」**の両比率を変えて、最適運用条件把握
					外気温条件や脱水素運用条件によって消費率は変動
					実証機は、反応管設計や断熱性で最適化されていない
				将来	装置全体の熱効率（断熱性）とTOL燃焼触媒の改良で**消費率8%**を実現
					外部排熱の利用によりTOL消費率のさらなる低減を実施
				課題対策	**燃焼触媒高性能化**と**熱伝導性向上**による8%の達成
					エンジニアリングデータとシミュレーションに基づく熱バランスの最適化

実証重点取組内容・結果について(売電パート)

◆風力発電量予測ツール開発　　[評価]事業化に向けた目途付け：△
①前日に翌日の発電量(30分同時同量)予測 **「乖離率(ﾜｰｽﾄｹｰｽ)4.4% (=ｲﾝﾊﾞﾗﾝｽ量÷発電量)」**
②不安定な風力を系統に接続し売電する際、風況および発電予測を行う事でインバランス発生を減じるなど、系統への負荷低減を図ることで系統接続制約を抑制する ⇒ 風力利用率向上・風力導入量拡大に資する

乖離率について

- 本実証における乖離率とは、電気主を前提とし、30分デマンドにおける売電量（電力量）の期間総和に対する、30分デマンドにおけるインバランス量（電力量）の期間総和の比（面積比）を示すものと定義する。
- なお、実運用フェーズにおいては、当該風車は余剰電力売電契約にて水素主となる。従い、実オペレーション上では30分デマンドにおける水素の最大製造可能量となる。（統合コントローラで実装するロジック）
- 上記ならびにインバランスペナルティコストの観点から、予測の上振れ（実発電量より予測が上回る）によるインバランスを特に重要視した評価とする。



乖離率分析結果

No1 風車（600kW）
期間総発電量(12/16~25)：142.2MWh

総発電量	予測発電量	売電量	売電率	ｲﾝﾊﾞﾗﾝｽ量	ｲﾝﾊﾞﾗﾝｽ率	乖離率
142159.5	85998.4	79661.5	56.0%	6336.9	11.3%	8.0%

No2 風車（600kW）
期間総発電量(12/16~25)：132.2MWh

総発電量	予測発電量	売電量	売電率	ｲﾝﾊﾞﾗﾝｽ量	ｲﾝﾊﾞﾗﾝｽ率	乖離率
132247.5	77316.2	71814.2	54.0%	5502.1	12.0%	7.7%

No3 風車（1000kW）
期間総発電量(12/16~25)：262.8MWh

総発電量	予測発電量	売電量	売電率	ｲﾝﾊﾞﾗﾝｽ量	ｲﾝﾊﾞﾗﾝｽ率	乖離率
262841.9	147673.2	137561.3	52.0%	10112.0	13.8%	7.4%

3機平準化：
売電率：53.8%
乖離率（対売電量）：7.59%
乖離率（対発電量）：4.08%
※ワーストケース（No1風車）：4.40%
インバランス率：12.37%

まとめ

1.今後の展望：

　2030年エネルギーミックス実現に向け、今後再エネ普及が促進される。
その中でも、特に風況の良い風力導入ポテンシャル地域である北海道への期待値は高い。

　一方で、系統脆弱問題を抱えており、風力大量導入に向け、系統への負荷を極力回避する調整力が必要となる。その一つの有効なソリューションがPtoGシステム(水素製造・貯蔵・輸送・利活用)であると考える。

　本実証にて、現地環境下に即した実機運転を行った事で、獲得出来た成果(技術的課題・対策案整理等)は、今後の事業化に向け貴重なノウハウ・知見となった。

　又、将来の事業化を見据え、道内FIT切れ風力活用を想定したビジネスプラン策定を行った事で、風力20MW・電解2MW規模にて、水素製造コスト・販売価格が釣り合う事が分かった(収益は出ない)。2030年代断面でのFIT切れ風力規模は10MW-57MW程度であり、上記規模でのPtoG導入を検討する事が現実路線であると考える。

　今後、新設風力サイトは大型化されていく傾向にあり、事業者視点でいくと、少なくとも風力200MW・電解20MW規模にて、PtoG事業運営を行う事で、事業性を担保した持続可能性のあるビジネスに繋がると考える。

　現状、国内における水素事業は黎明期にあり、先行する欧州の事例からも分かる通り、水素需要喚起策として、FCモビリティ分野であれば、レギュレーション（ディーゼル車乗入規制）・インセンティブ(デーゼル車とFCモビリティとの差額を政府・自治体が支援)等が求められるであろう。

　最後となるが、4年に渡り、本実証を通して、あぶり出した技術的・コスト的課題を解決し、事業に繋げたいと考える。