

鉄道総研における 燃料電池鉄道車両の取組みについて

平成30年2月21日

「鉄道と船舶における燃料電池の利用に関する国際セミナー」
(於 六本木アカデミーヒルズ タワーホール)

(公財)鉄道総合技術研究所
車両制御技術研究部 水素・エネルギー研究室
柏木 隆行

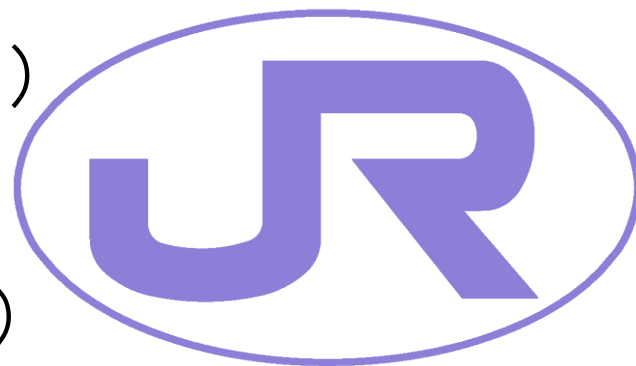


本日の発表

1. 燃料電池鉄道車両開発の目的
2. 鉄道総研での開発経緯
3. 30kW級燃料電池システムの開発と台車駆動試験 (Phase I)
4. 100kW級燃料電池システムの開発と車両走行試験 (Phase II)
5. リチウムイオンバッテリーとのハイブリッド化と2両編成による走行試験 (Phase III)
6. まとめ

鉄道総研とは？

- ・名称：公益財団法人鉄道総合技術研究所
- ・国鉄の分割民営に伴い、国鉄の機関である「鉄道技術研究所」、「鉄道労働科学研究所」等を合併し、昭和61年財団法人として発足、平成23年より公益財団法人
- ・日本国有鉄道改革法(昭和61年法律第87号)第11条第1項の試験研究に関する業務を引き継ぐ法人として、鉄道技術及び鉄道労働科学に関する基礎から応用にわたる総合的な研究開発、調査等を行い、もって鉄道の発展と学術・文化の向上に寄与することを目的とする
- ・職員数：527名(2017年4月1日現在)
- ・事業予算：185億円(2017年度)
- ・場所：東京都国分寺市(国立研究所)



JRグループの一員であるが、特定のJRの研究所ではない



1. 燃料電池鉄道車両開発の目的

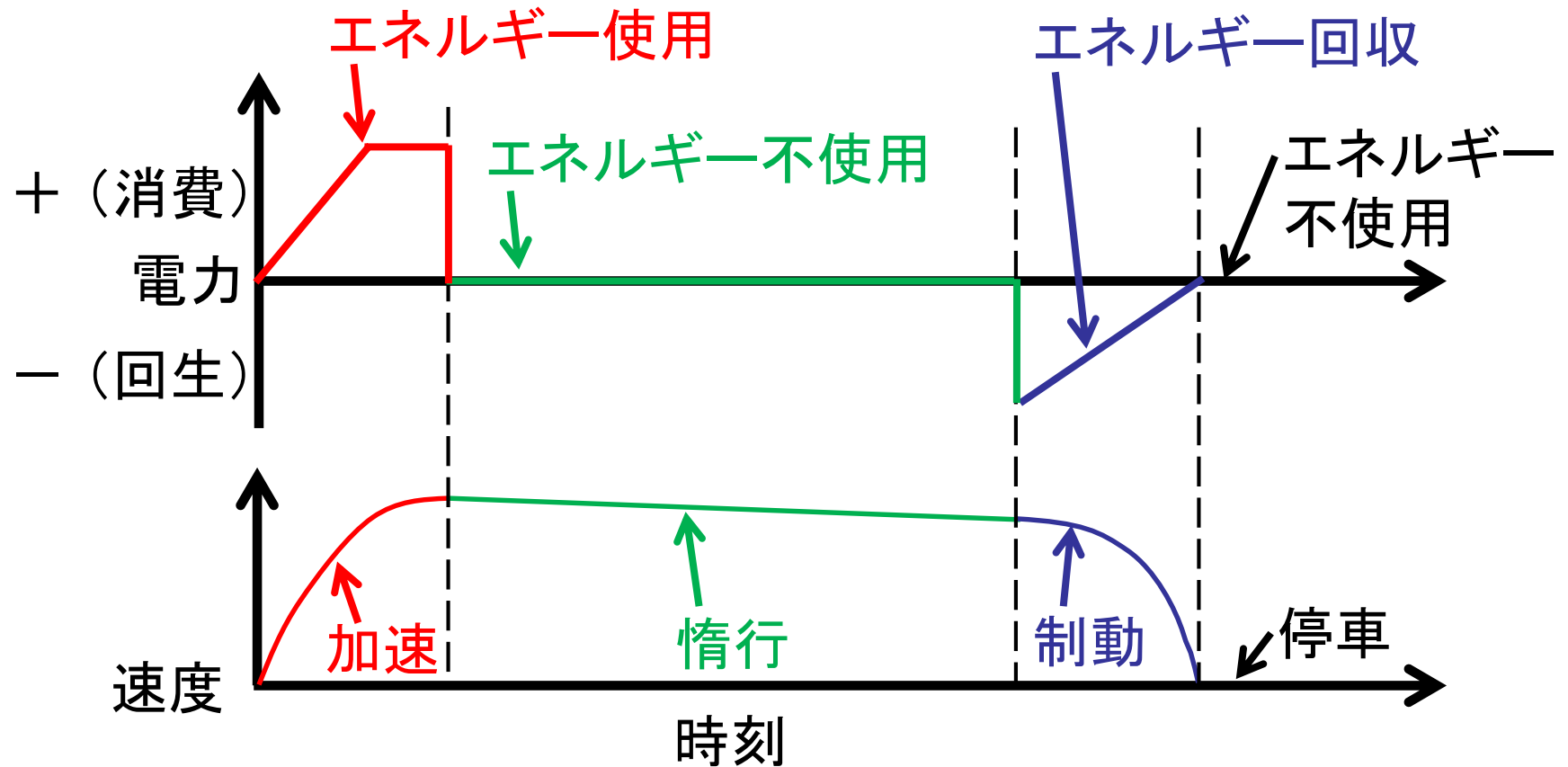
- ・地球環境問題への取り組みから、エネルギー効率が高く、CO₂やNO_x等を排出しない車両への要求
- ・化石燃料資源のみに依存せず、将来のエネルギー源の多様化

これらに
対応するため

水素を燃料として発電する燃料電池を鉄道車両の電源に適用する燃料電池鉄道車両の開発を行っている

燃料電池を鉄道車両で使うには？

- ・鉄道車両走行時のエネルギー使用イメージ



鉄道車両走行時の時刻と速度，電力の関係

鉄道車両に必要な電力の特徴

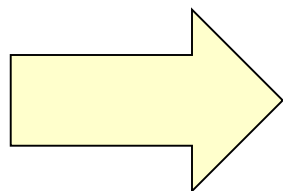
① **加速、制動時間が短く**、惰行(=駆動力0, 加速も制動も行わないで走行)時間が長い

② **短時間に大電力**を入出力する必要がある

③ **運動エネルギー**を電力回生として**回収**しやすい

∵ 鉄道車両は

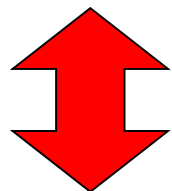
- ・質量が重い(1両当たり数十トン)⇒運動エネルギー大
- ・転がり抵抗が少ない⇒運動エネルギー保存



鉄道車両には短時間で大電力を入出力できる装置が必要

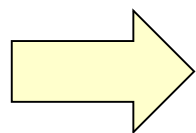
燃料電池を鉄道車両で使う方法

- ・燃料電池は一定の負荷を連続して取り出すことが得意



相反する

- ・鉄道車両には短時間で大電力を入出力できる装置が必要



燃料電池とバッテリーのハイブリッド化で対応

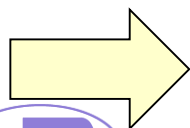
- ・ハイブリッド化したときの状態毎の電力授受

加速: 燃料電池 + バッテリーの電力を使用

惰行: バッテリーを燃料電池の電力で充電

制動: 回生電力でバッテリーを充電

停車: バッテリーを燃料電池の電力で充電



制動時以外は燃料電池の負荷が連続

2. 鉄道総研での開発経緯

- 1990年代 超電導磁気浮上式鉄道の車上電源用として研究開発
- 2000年 在来方式鉄道への応用検討開始
平兵衛まつりにて人間を載せて運転(庭園鉄道)
- 2001年 固体高分子形燃料電池による電車の開発を開始
30kW定置試験装置(Phase I)
- 2006年 100kW級車載用燃料電池完成(R291試験電車へ搭載)、車両試験台による試験(Phase II)
- 2008年 R291試験電車にリチウムイオン電池を搭載(ハイブリッド化)(Phase III)
- 2012年 液体水素タンク試作
- 2016年 100kW級車載用燃料電池使用開始から10年

1kW級燃料電池による乗用模型



- 10セルスタック
- 10V-100A
- 浮上式鉄道車両の車上電源研究用として導入

開発スケジュール

	Phase I	Phase II	Phase III
期間	2001～ 2003	2004～ 2006	2007～ 2008
燃料電池出力	30kW級	100kW級	100kW級
ハイブリッド用 バッテリー	—	—	リチウムイオン バッテリー 360kW
試験目標	1台車駆動	1車両走行	2両編成走行

3.30kW級燃料電池システムの開発と 台車駆動試験(Phase I)

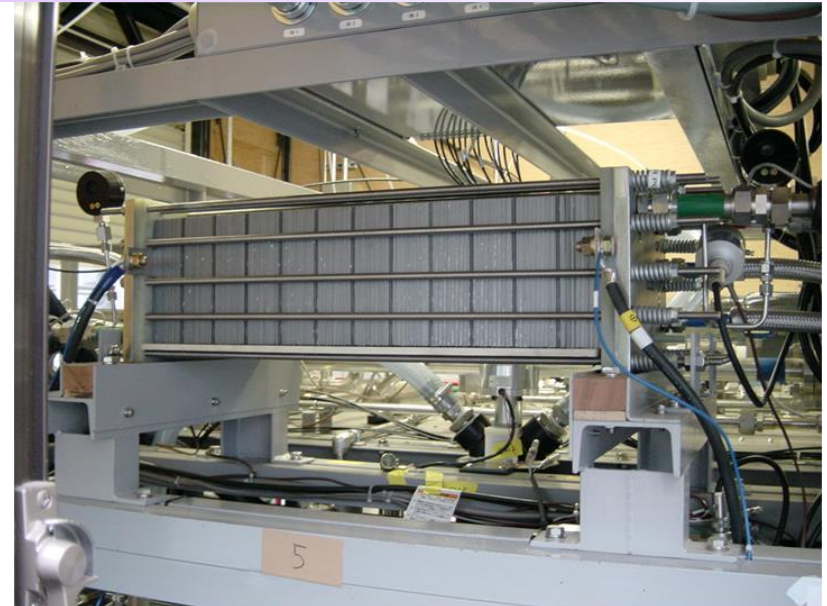
目的: 燃料電池で鉄道車両の駆動システムが動作できるか
対象: 1台車駆動(車体無し)



30kW級燃料電池システム



30kW級燃料電池システム



スタック

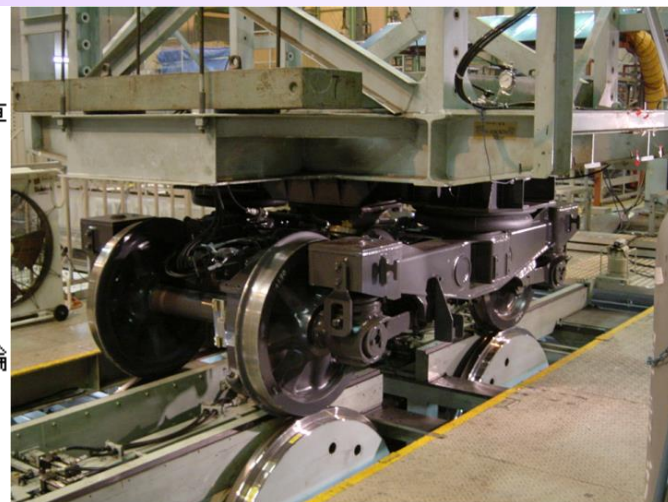
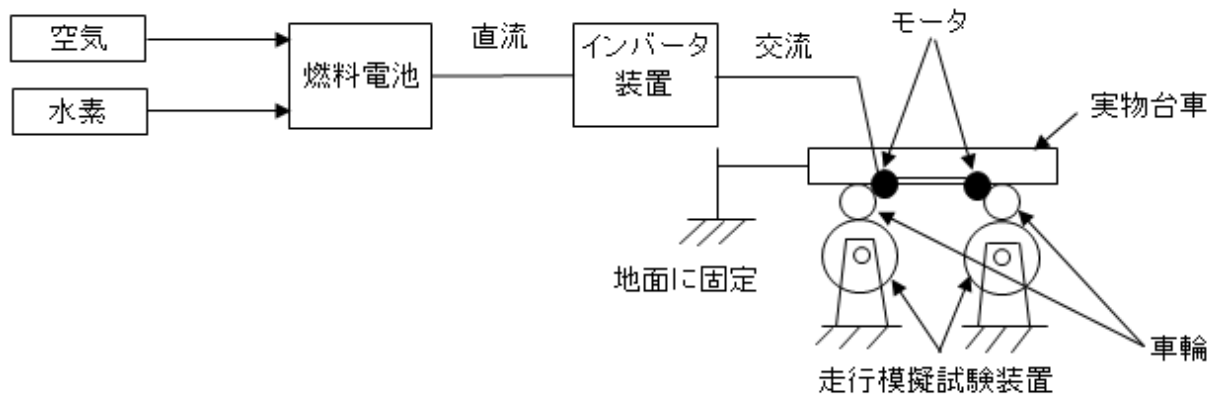
定格出力: 30kW
(7.5kW × 4スタック)

定格運転温度: 65°C

加湿: 空気側のみ加湿

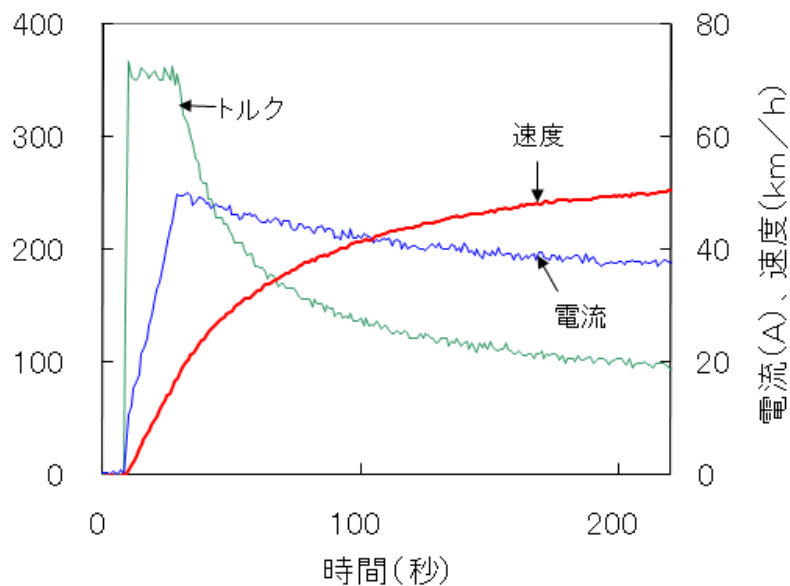
スタック: H Power製
システム: 国産

台車駆動試験



台車駆動試験構成

- 速度50km/hまでの駆動確認
- 実際の電動機を駆動して定格出力確認
- 電動機負荷による負荷変動追従確認



台車駆動試験結果例

30kW級燃料電池システムの課題

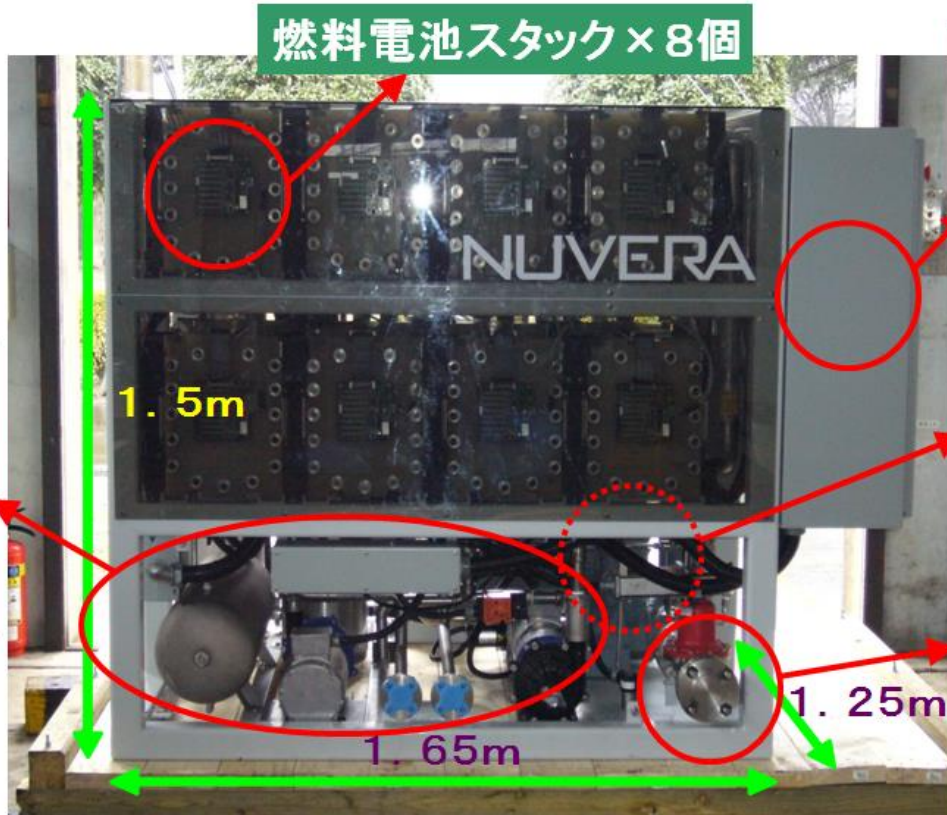
- ①水素側に発生した水の排出方法(フラッシング対策)
- ②水素側パージサイクルにおける排出水素の再利用
- ③加湿装置・冷却水温度調節・空気供給装置等の補機
電力削減
- ④空気供給制御のマスフローコントローラ以外の流量調
整方法
- ⑤運転開始時に負荷を少しずつ増減させる準備運転の
短縮化・不要化

4.100kW級燃料電池システムの開発と 車両走行試験(Phase II)

目的: 燃料電池で鉄道車両を実際に走行させられるか
対象: 1両走行



100kW級燃料電池システム



燃料電池スタック×8個

制御部、
バッテリー
等

冷却ポ
ンプ、
水素バ
ッファタ
ンク等

1.5m

裏側に
空気供給
装置

水素供給
装置

1.65m

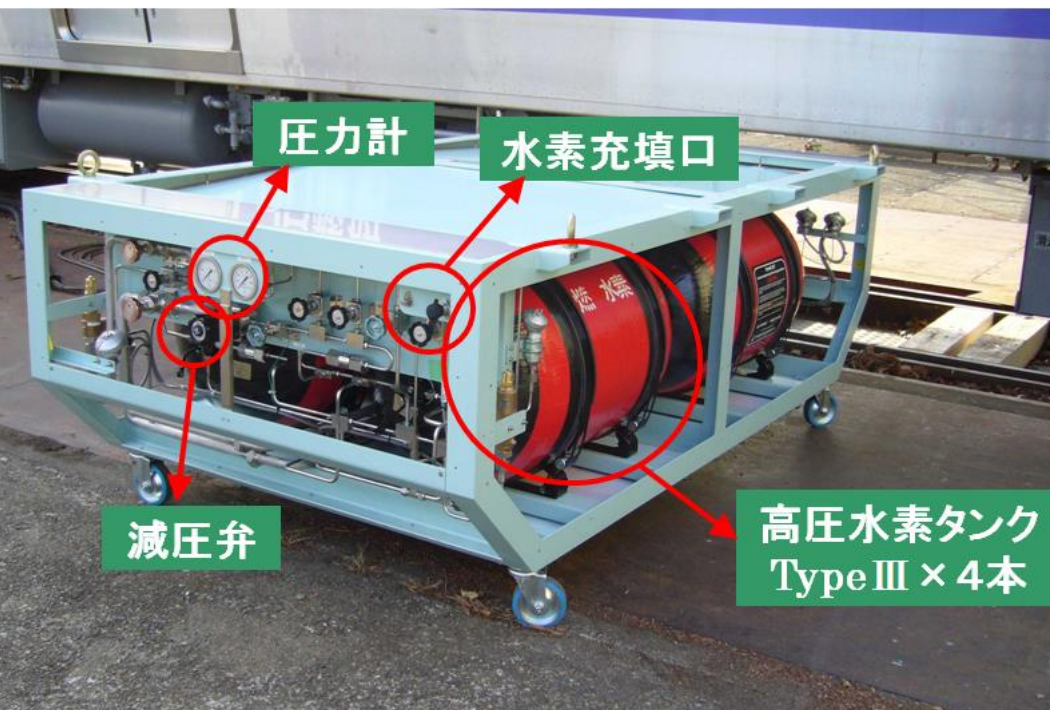
1.25m

出力：約100kW(net)
種類：固体高分子形
電圧：DC900～600V
定格電流：200A
質量：1,650kg

燃料電池モニタ



高圧水素タンクシステム



タンク種類:TYPEⅢ

最大圧力:35MPa

内容積:180L/本

水素貯蔵量:4.5kg/本

システム構成:タンク×4本

システム寸法:

1.45×2.7×0.8m

システム質量:790kg

・特認を得て試験車両へ搭載

高圧水素タンクの種類について

種別	構成	重さ	備考
TYPE I	鋼製一体容器	重い ↑ ↓ 軽い	
TYPE II	鋼製容器＋胴部カーボンファイバー補強		
TYPE III	アルミ容器＋カーボンファイバーフルフラップ補強		
TYPE IV	樹脂容器＋カーボンファイバーフルフラップ補強		微小な漏れあり

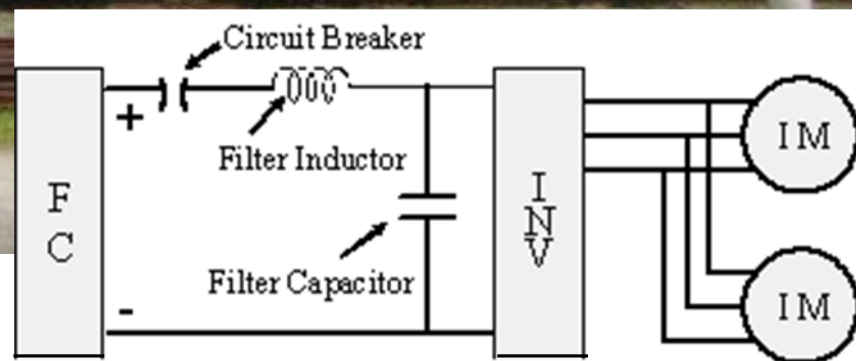
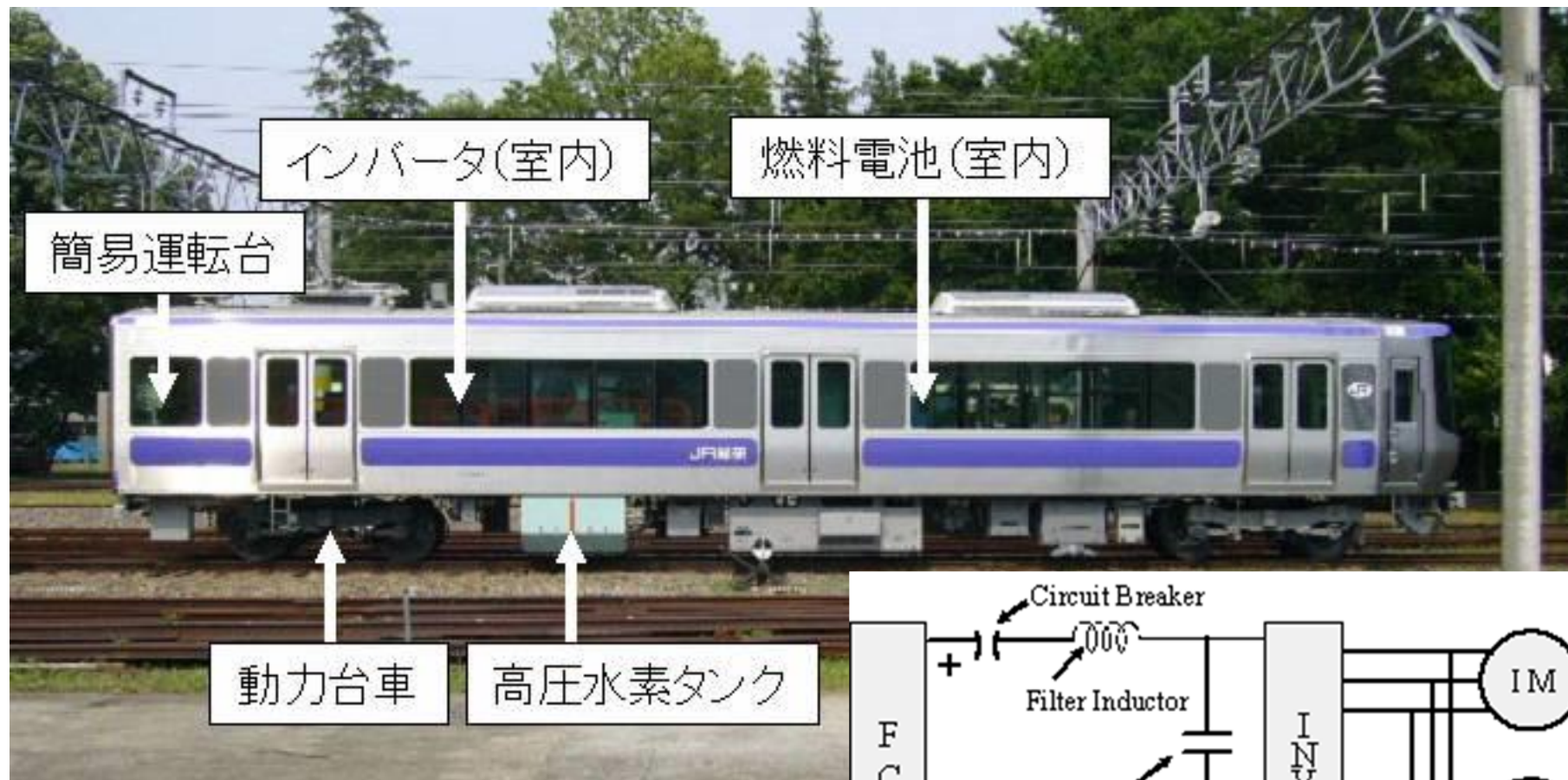
燃料電池車両用高圧インバータ装置

パラメータ
変更用
制御部

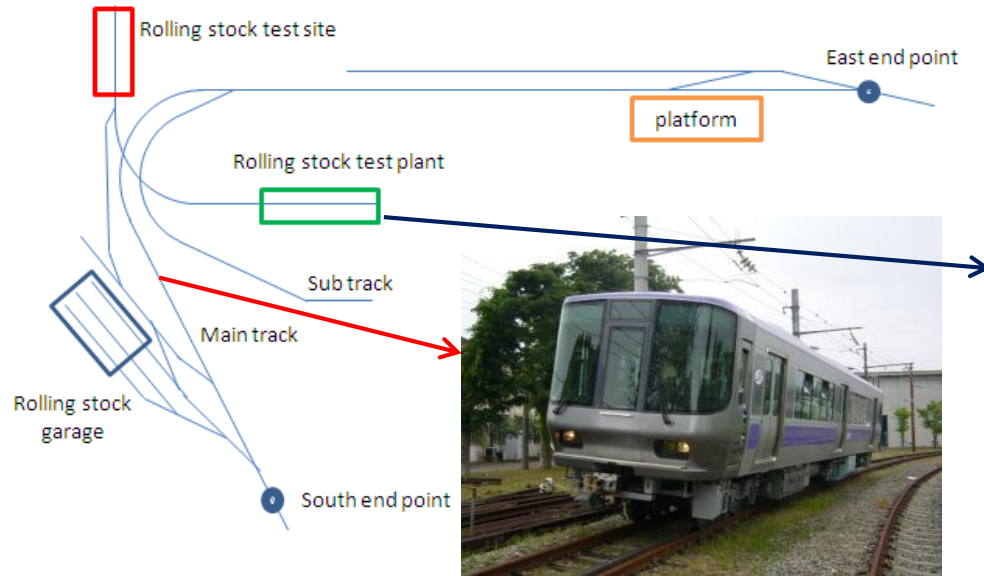


在来線電車用
高圧インバータ装置

100kW級燃料電池システム搭載状況



鉄道総研の所内試験線および車両試験装置



所内試験線

最高速度制限: 45 km/h
試験線長さ: 650m



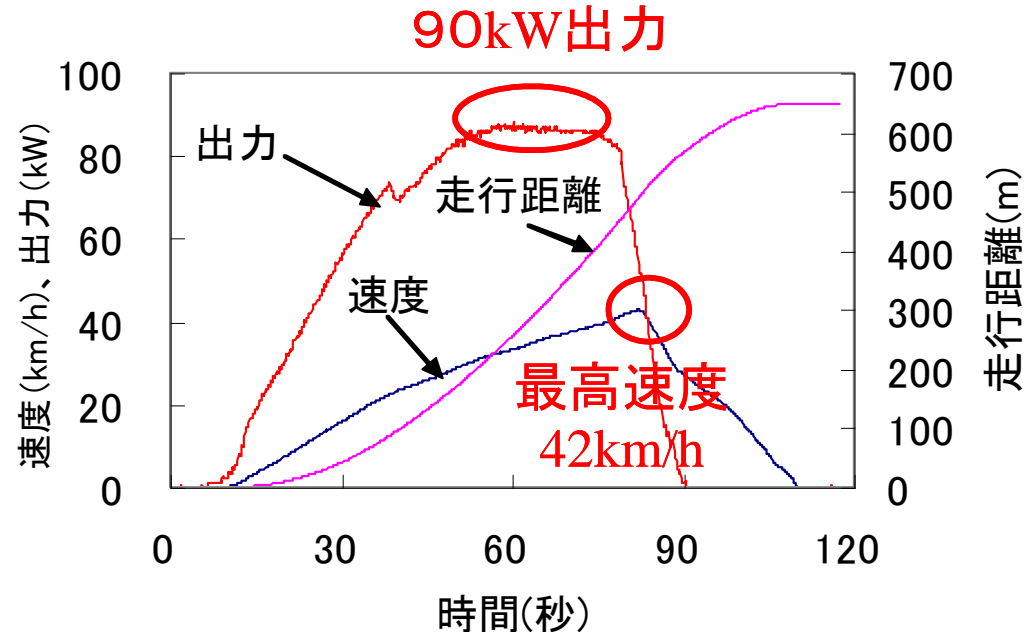
高速車両試験台

最高試験速度:
500 km/h以上

燃料電池による車両走行試験



所内試験線での試験走行



所内走行試験結果例

- ・最高速度42km/h、出力90kWを確認
- ・燃料電池出力が負荷に追従することを確認
- ・効率49.9%、燃費7.6km/kg-H₂

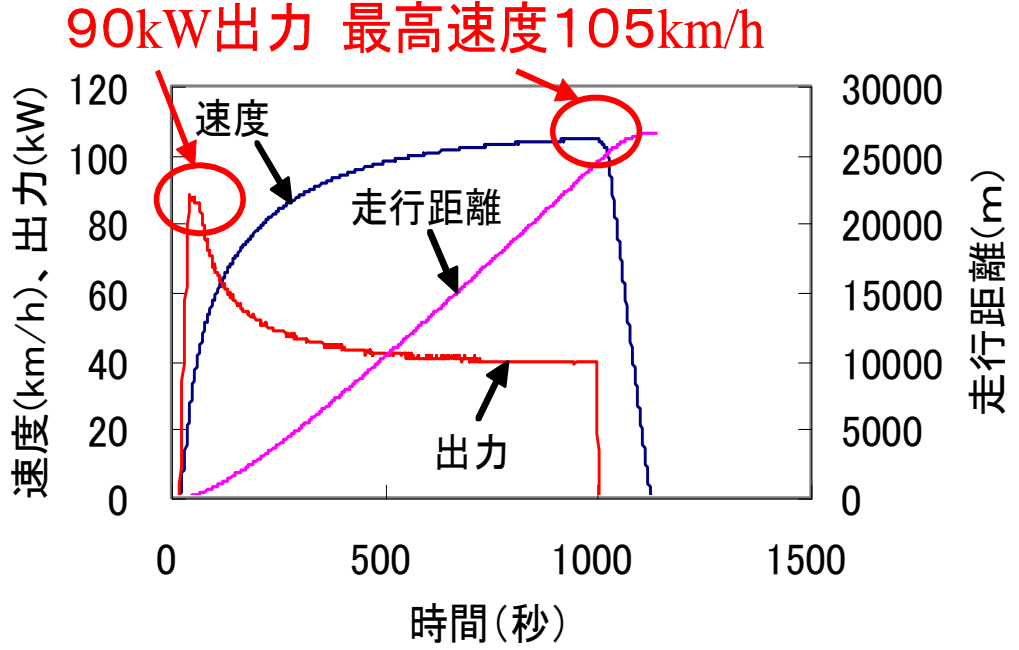
1両での走行状況



高速車両試験台試験での走行模擬試験



高速車両試験台での
走行模擬試験



走行模擬試験結果例

- ・最高速度105km/hまで加速できることを確認
- ・実負荷条件で約16分間連続出力可能であることを確認
- ・効率52.7%、燃費34.6km/kg-H₂

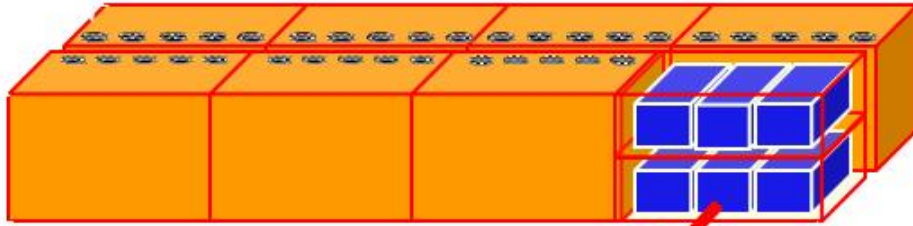


5.リチウムイオンバッテリーとのハイブリッド化 と2両編成による走行試験(PhaseⅢ)

目的: 実用的な燃料電池鉄道車両システムが構成可能か
対象: 2両走行



リチウムイオンバッテリーシステム



(a)リチウムイオンバッテリー

(b)モジュール
(内部に8セル内蔵)



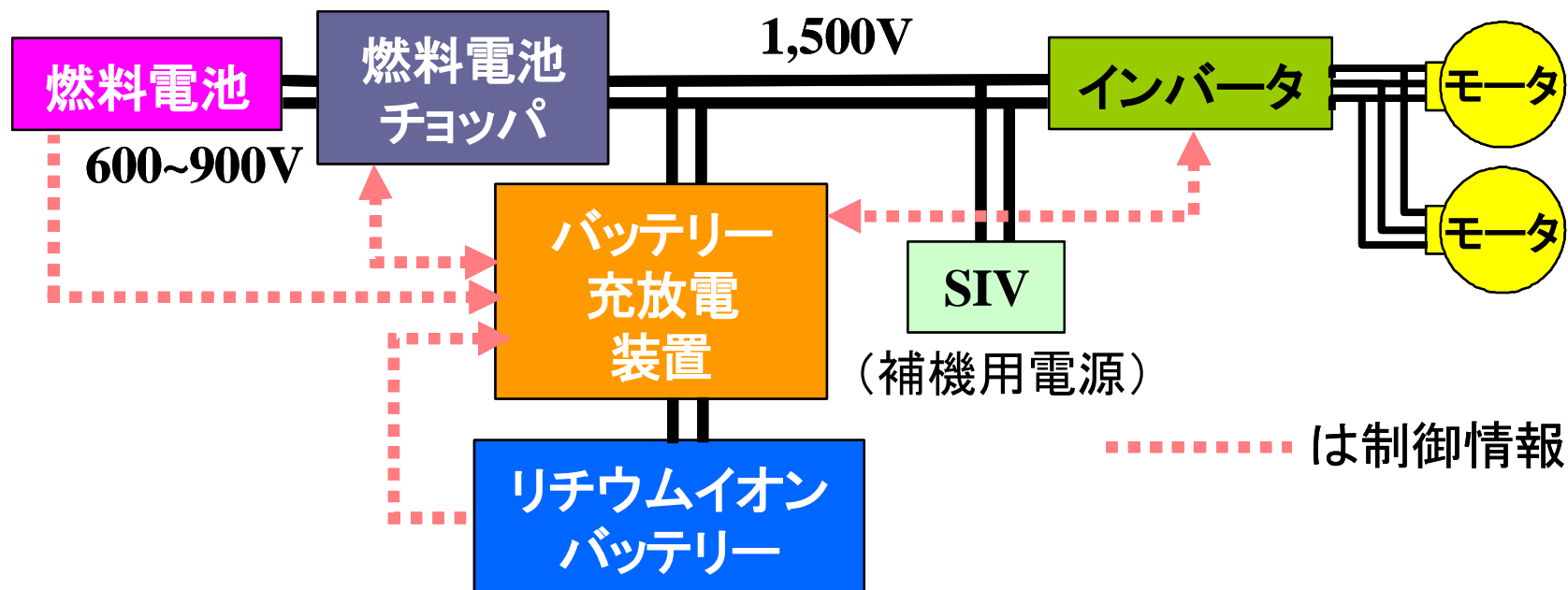
バッテリー充放電装置

リチウムイオンバッテリーとモジュール

- ・定格電圧：600V
- ・容量：60Ah (30Ah × 2並列)
- ・最大電力：360kW

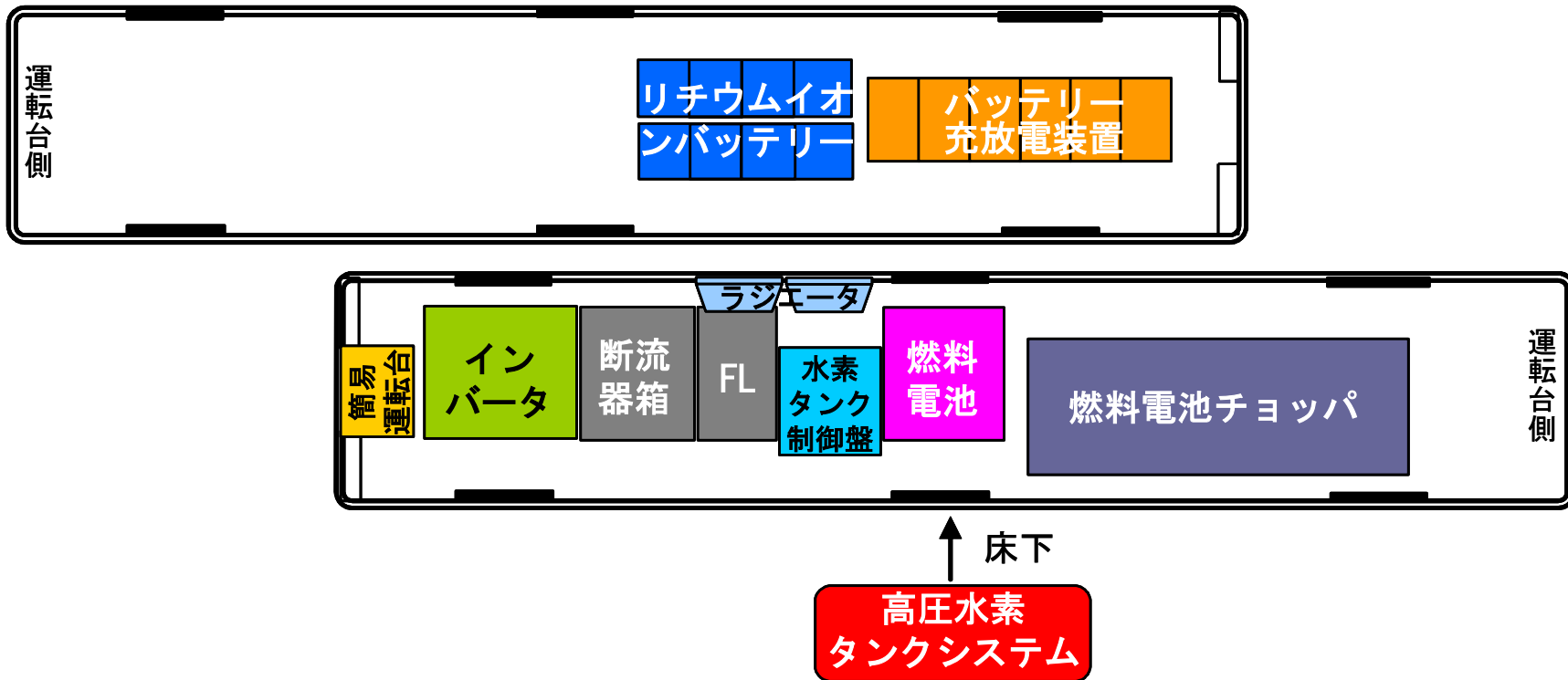
- ・電圧：低圧側600V
高圧側1500V
- ・ハイブリッド制御機能を付加

主回路構成



- ・燃料電池とバッテリーのハイブリッド構成
(市販の燃料電池自動車と同様)
※主回路電圧が自動車とは大きく異なる

機器配置



- ・ 大部分の機器が車内に配置されている

燃料電池・バッテリーハイブリッド構成・搭載状況

高圧水素タンクシステム

燃料電池

バッテリー充放電装置



リチウムイオンバッテリー

リチウムイオンバッテリーと
バッテリー充放電装置

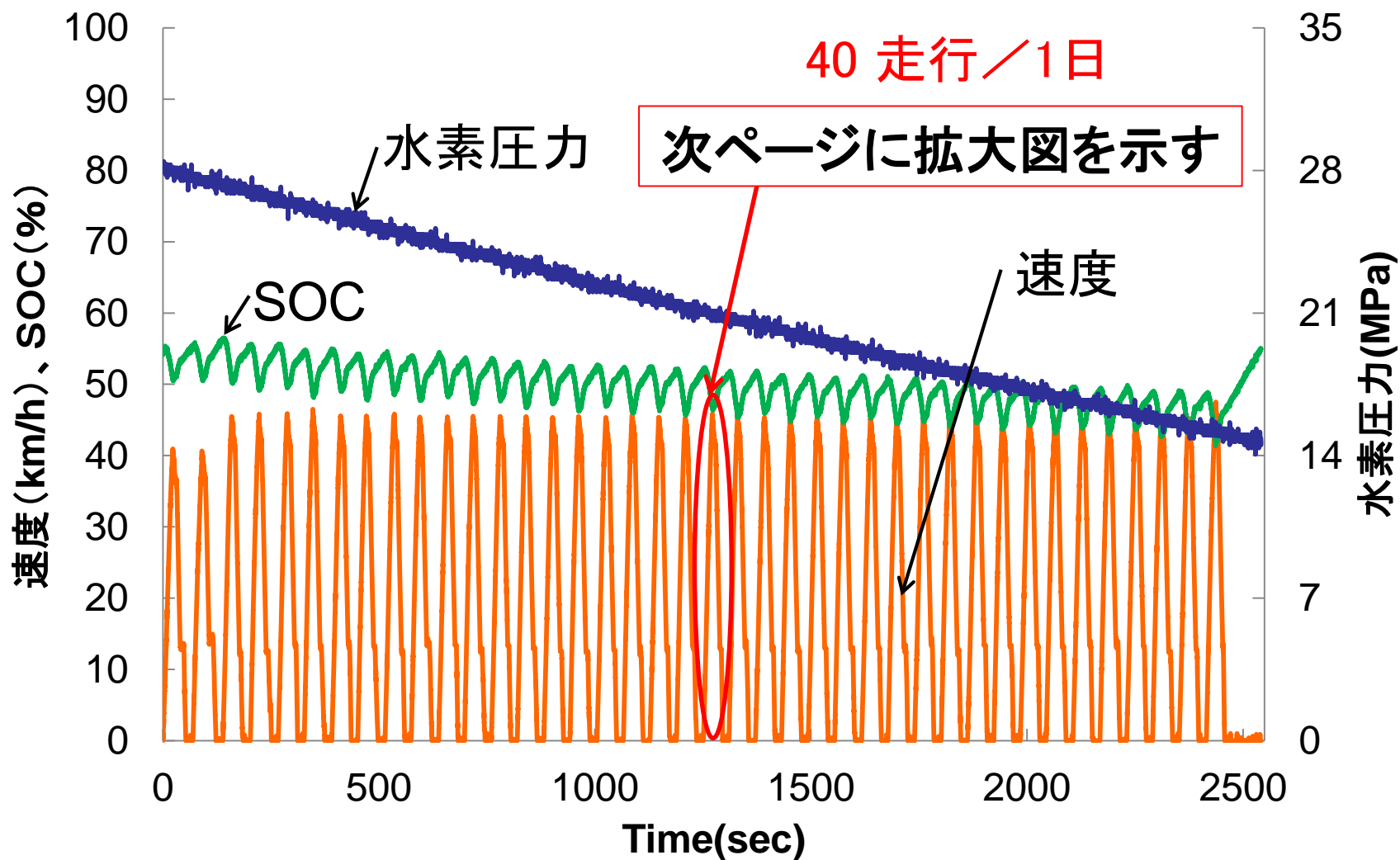
燃料電池と
高圧水素タンクシステム



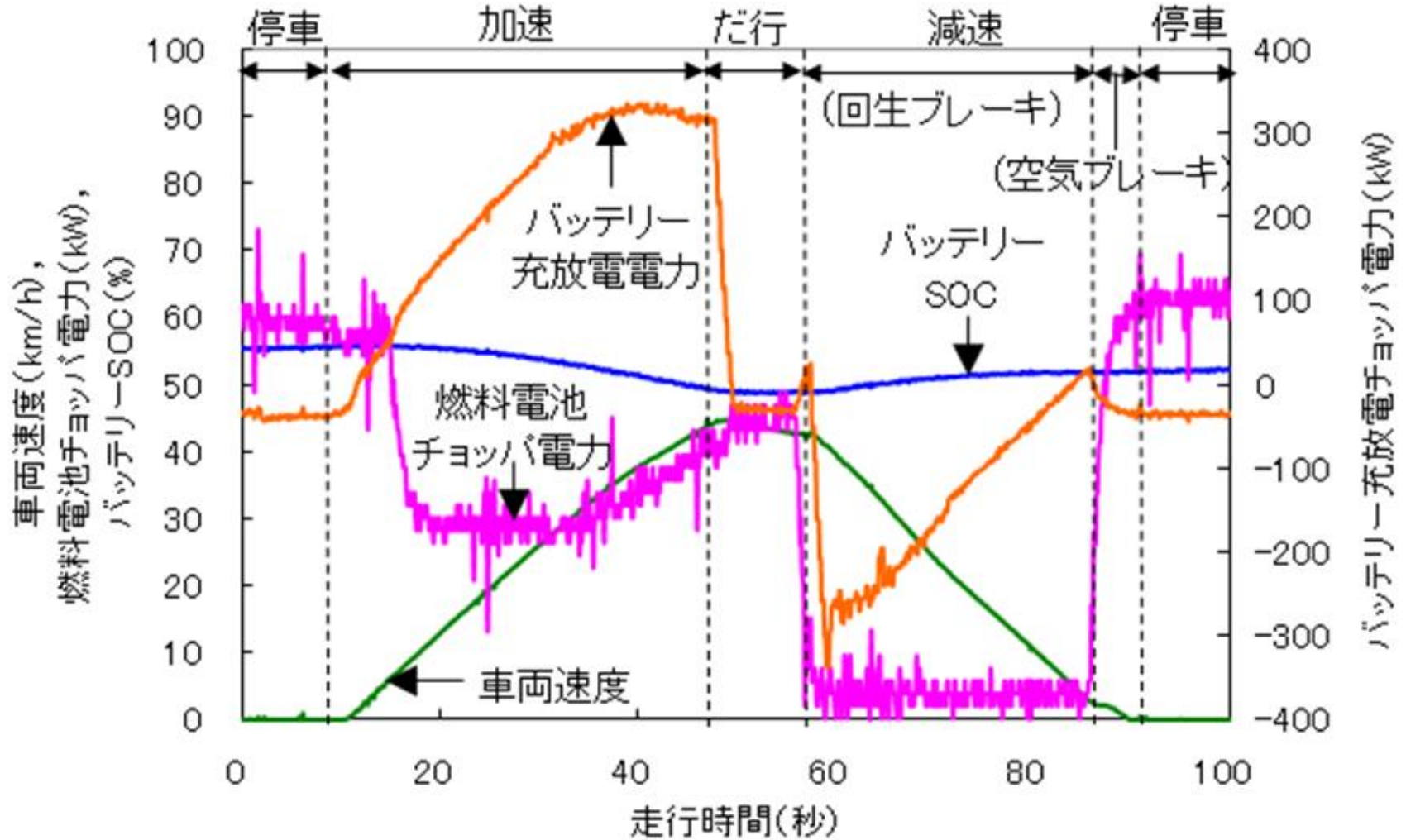
燃料電池・バッテリーハイブリッド走行試験



1日の走行試験例



燃料電池・バッテリーハイブリッド構成における 走行試験結果例



エネルギーフローモニター

停車

駆動用インバータ

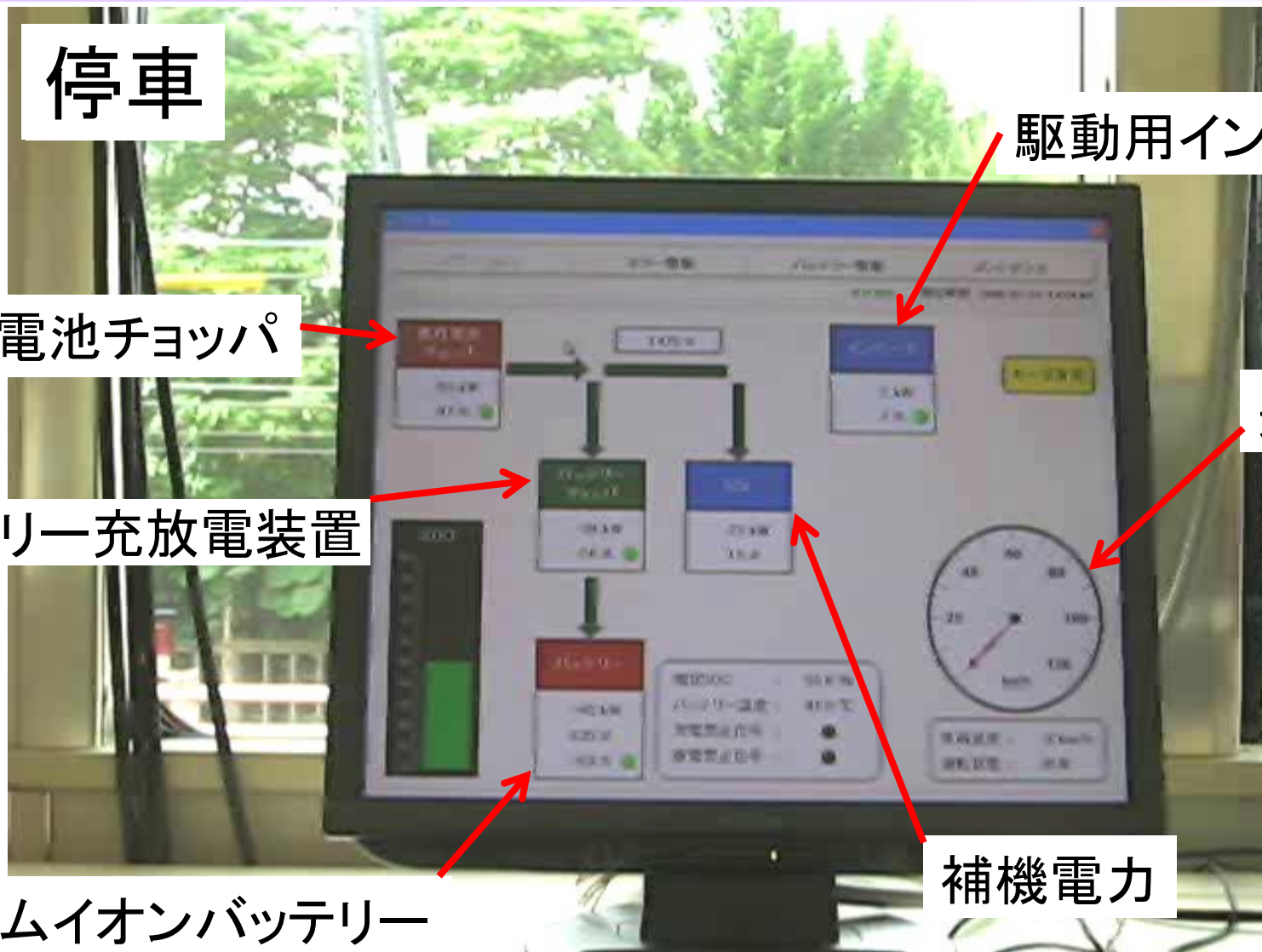
燃料電池チョッパ

速度計

バッテリー充放電装置

補機電力

リチウムイオンバッテリー



ハイブリッド構成における燃費の評価

消費水素量	走行距離合計	燃費
1530 mol(3.08kg)	13,400 m	4.34 km/kg-H ₂

2両編成、空調なし条件で20走行した時のもの

ハイブリッド構成における効率の評価

車両エネルギー効率*の評価

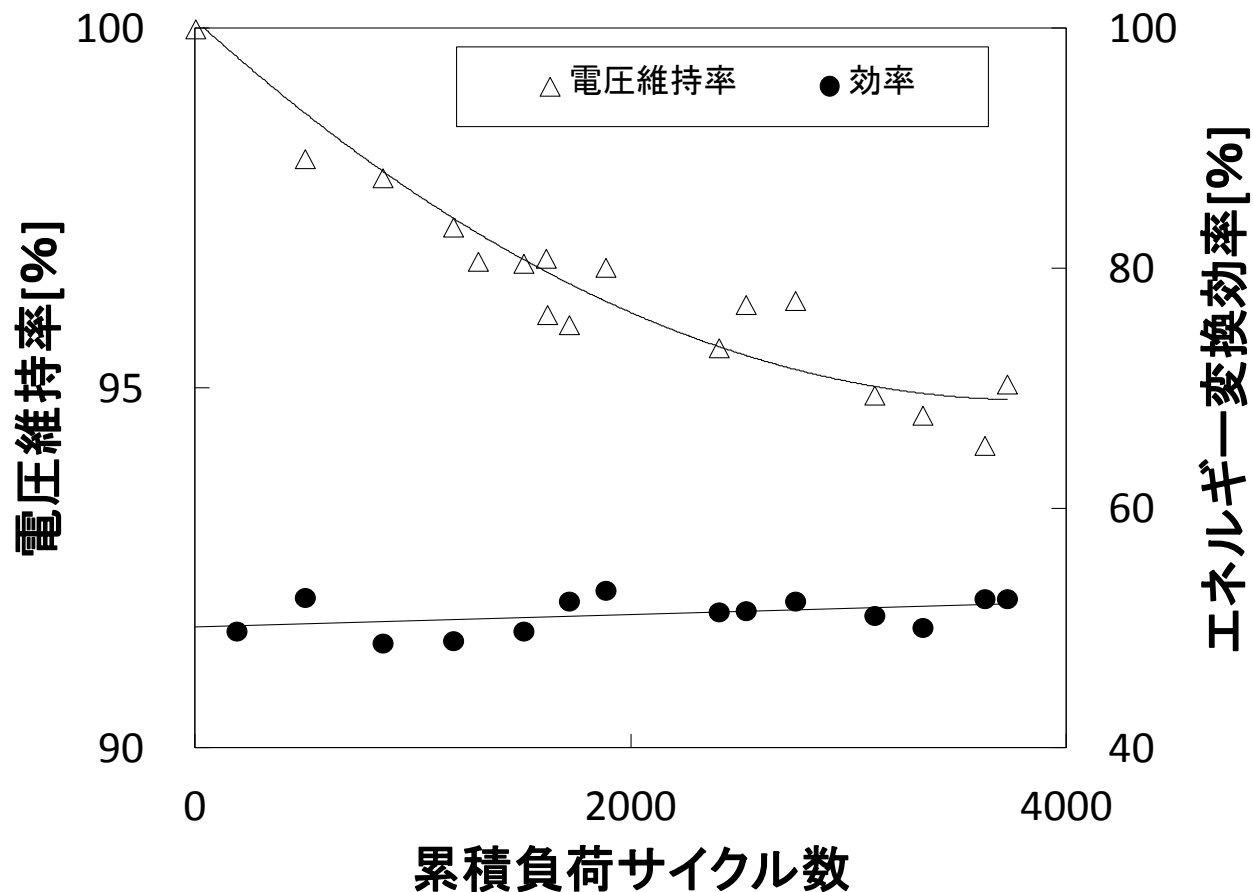
力行 エネルギー	補機 エネルギー	水素 エネルギー**	車両エネル ギー効率*
60.8 kWh	14.5 kWh	100.6 kWh	74.8 %

*車両エネルギー効率 =
(力行エネルギー + 補機エネルギー) / 水素エネルギーと定義

**水素エネルギー: 237kJ/mol(低位発熱量)を用いて消費した
水素量から算出

燃料電池の効率は 49.8 %と評価
2両編成、空調なし条件で20走行した時のもの

長期劣化特性の評価(10年間)



- ・エネルギー変換効率はほぼ変化なし
- ・出力電圧は初期状態から約5%低下

6.まとめ

これまで10年以上に渡り燃料電池を鉄道車両に搭載した状態で走行試験を継続し、燃料電池鉄道車両実現に向けた評価を行ってきた。

現状以下のような課題があり、引き続き検討を行っていく。

- ・燃料電池をはじめとする車載機器の小形軽量化
- ・燃料電池の耐久性向上
- ・高圧水素を燃料として使用する場合の法規制への対応

今後の計画

- ・床下，屋根上に設置可能な実用レベルの燃料電池・電力変換器を製作し，所内走行試験に供する計画である

本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した

