

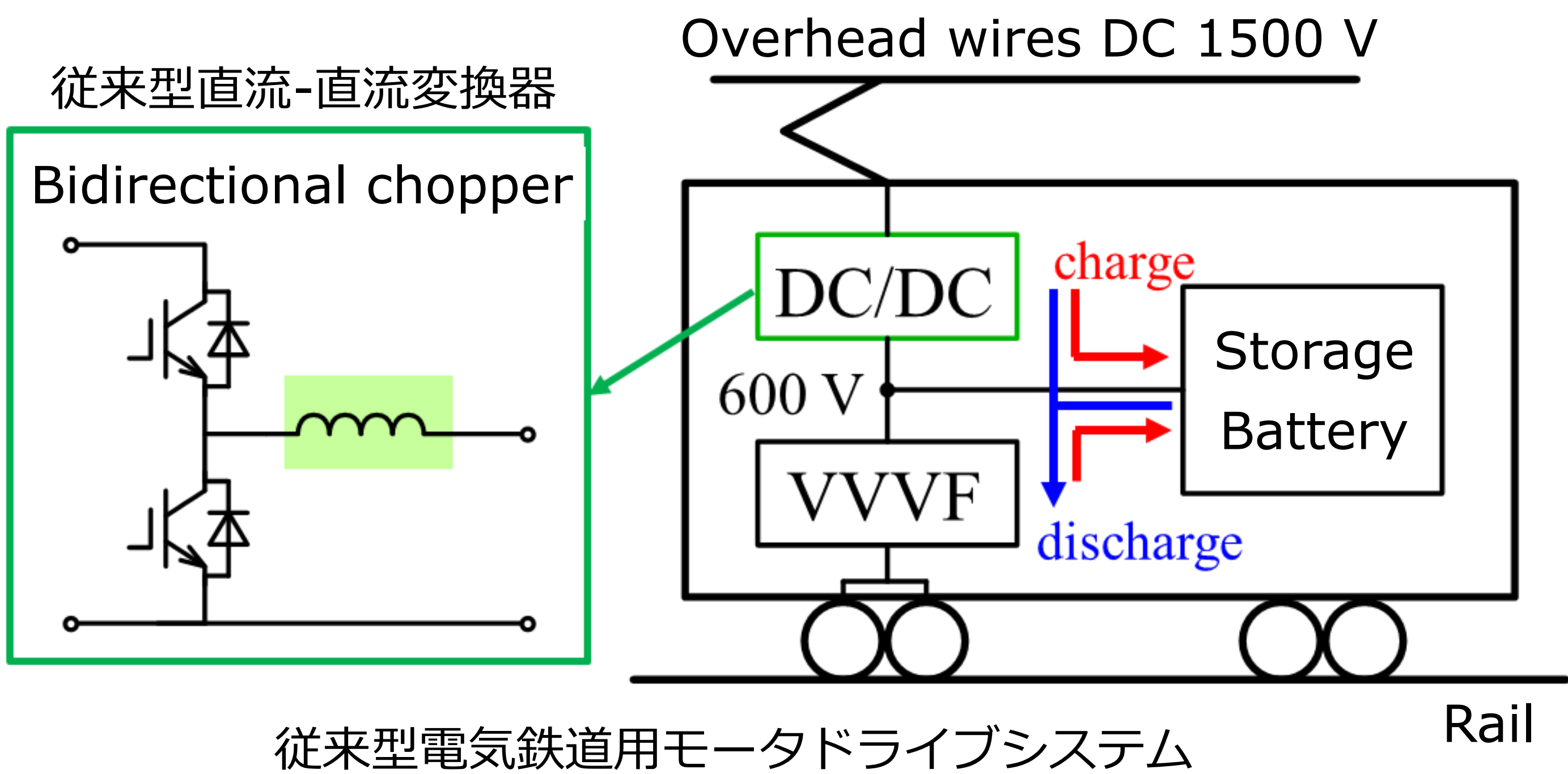
1 バッテリー車載型直流電気鉄道



JR東日本EV-E301系電車「ACCUM」
https://www.jreast.co.jp/eco/saving/pdf/03_accum.pdf

--- バッテリー車載化による利点 ---

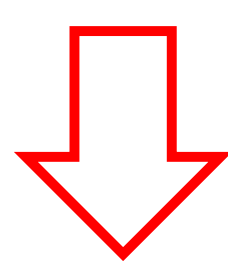
- 気動車と比較し省エネルギーの実現
- 回生電力の有効活用が可能
- 排気ガス・騒音問題が無発生
- 架線レスが可能であり景観向上



従来型電気鉄道用モータドライブシステム

従来型電気鉄道用モータドライブシステムの問題点
インダクタがシステム大型化・高重量化の主要因

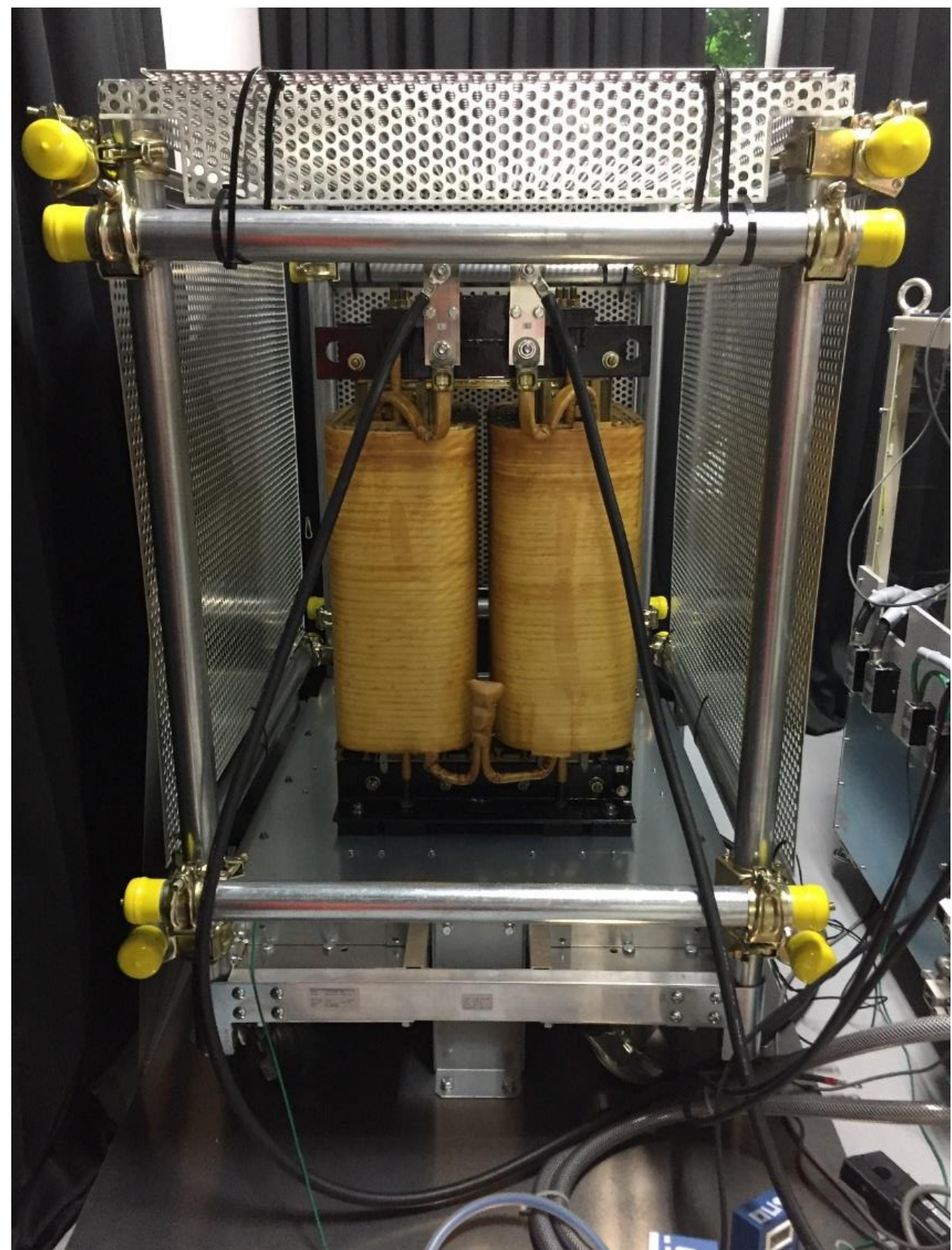
鉄道車両用インダクタ



重量数百kgから1トン以上

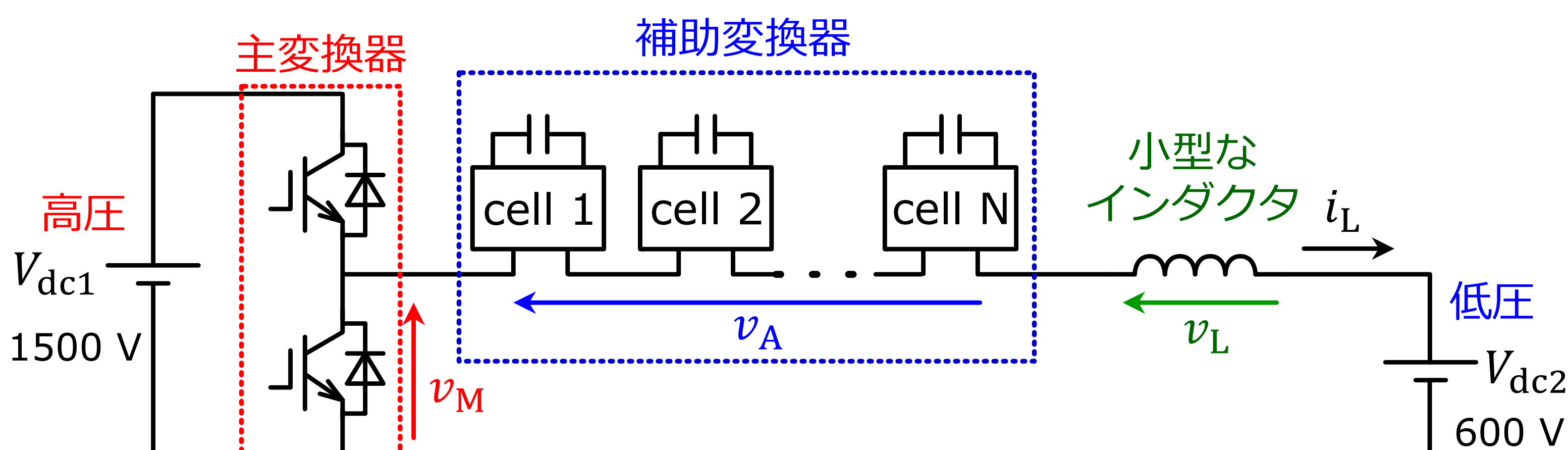
--- 高重量インダクタの問題点 ---

- システムの大型化・高重量化
- 高コスト化・低燃費
- 電力変換器の制御性低下



定格2.5 mH, 300 Arms単相交流インダクタの外観

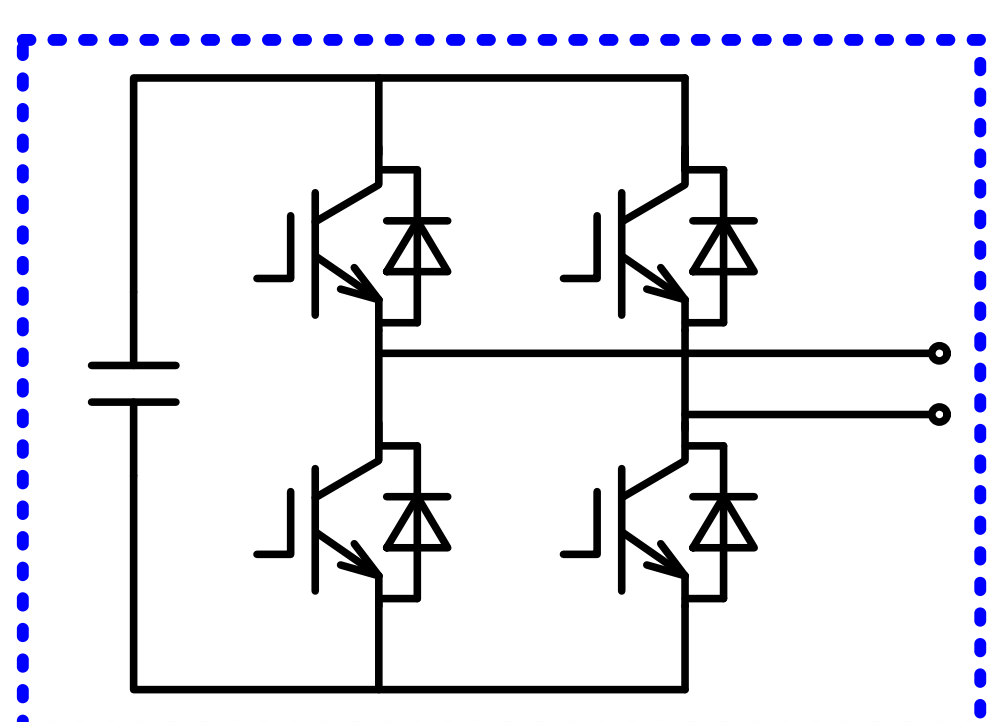
2 インダクタ小型化が可能な直流-直流変換器



提案する補助変換器を有する直流-直流変換器の回路構成

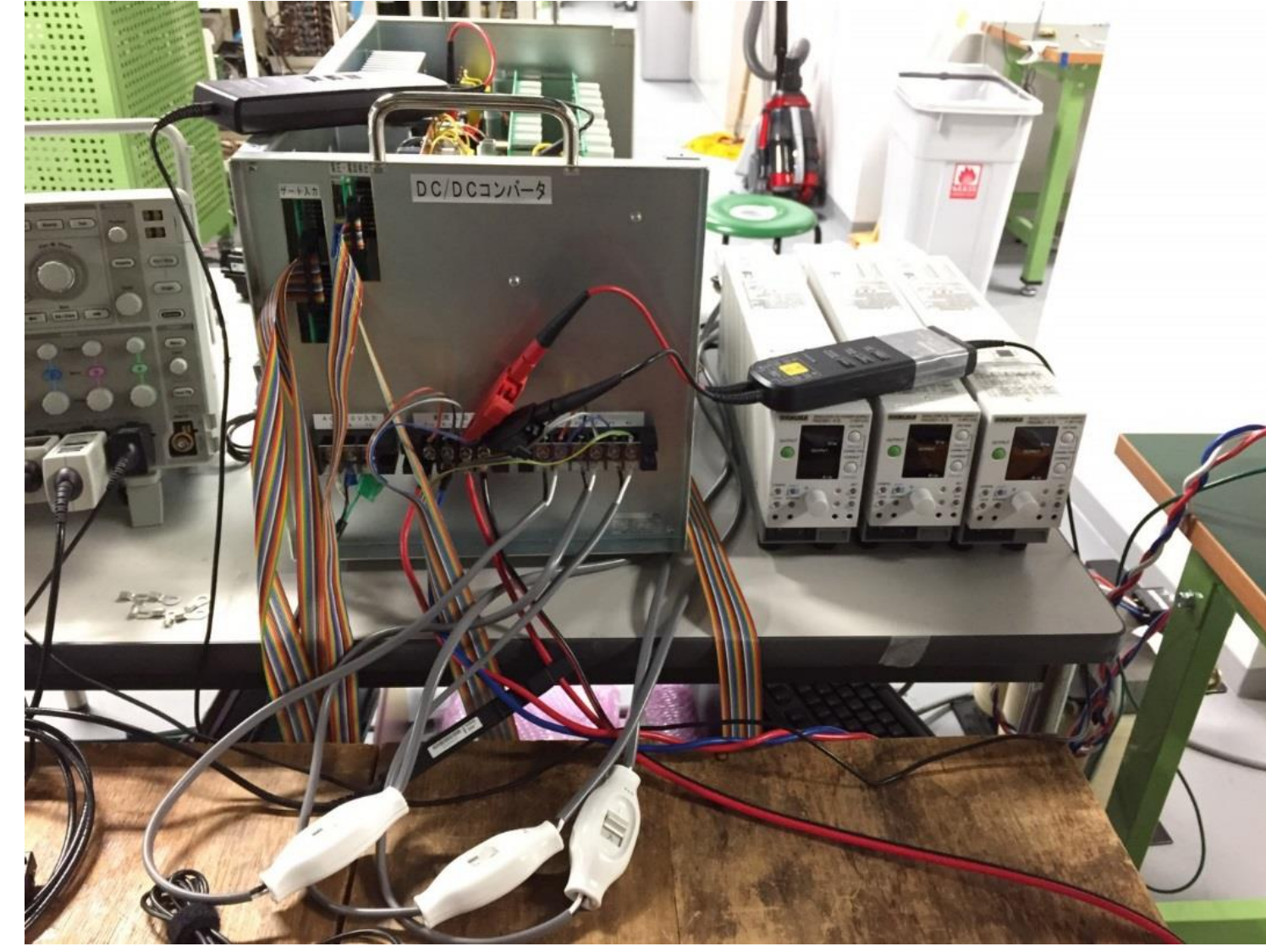
動作・回路上の特長

- 主変換器が発生する交流成分を補助変換器が吸収
- その結果、インダクタに印加される電圧が理想状態では零
 (インダクタンスの大幅な低減)
- 補助変換器は直流遮断器としての機能を保有 (信頼性向上)
- 電気自動車にも適用可能



補助変換器に使用する各単位セルの構成 (単相フルブリッジ変換器と等価)

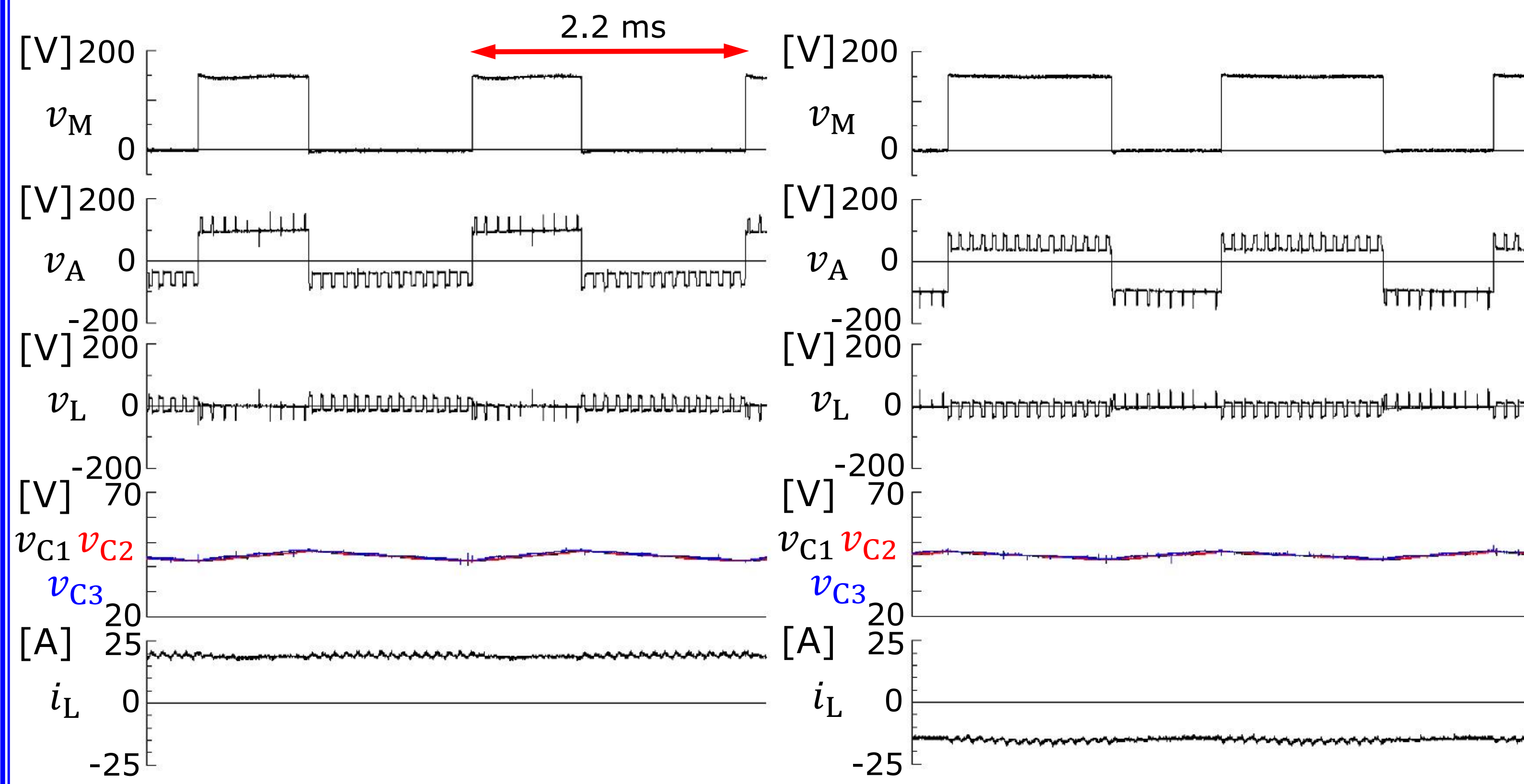
3 150 V, 2 kW実験システム (ミニモデル)



実験装置の外観図

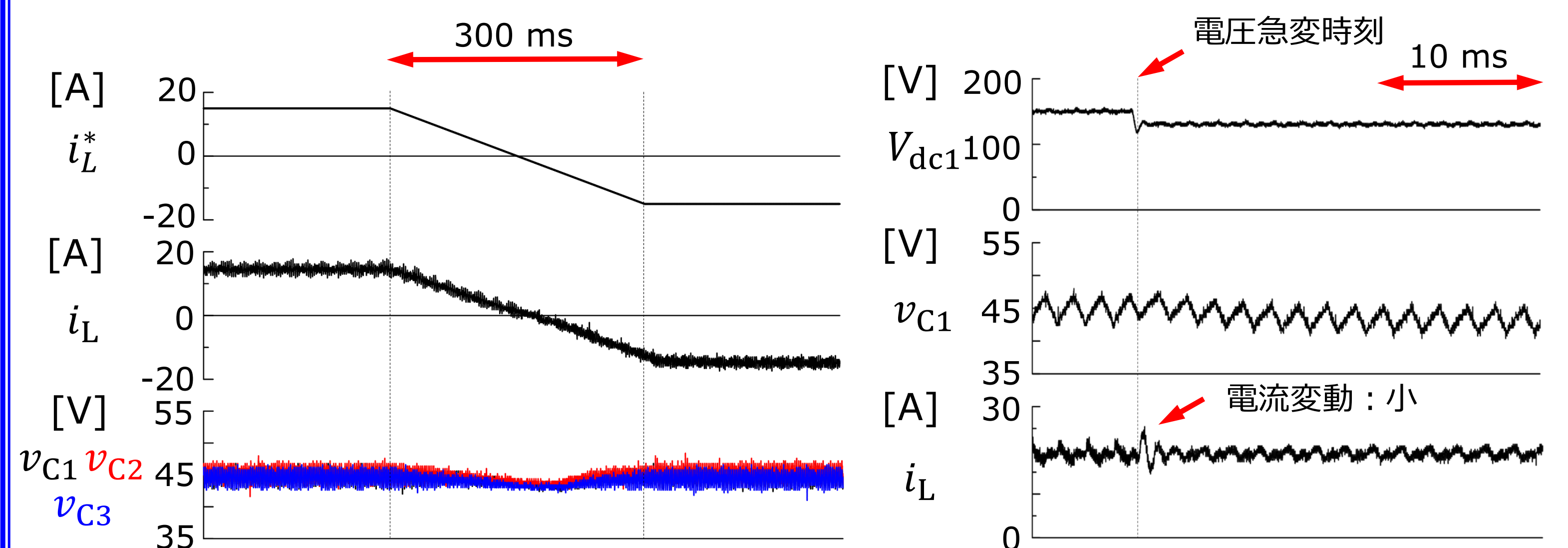
実験に用いた回路定数

定格電力	2 kW
補助変換器のブリッジセル数	3
直流コンデンサ電圧指令値	45 V
キャリア周波数 (主変換器)	450 Hz
キャリア周波数 (補助変換器)	1800 Hz



定常特性 (降圧チョッパ動作)

定常特性 (昇圧チョッパ動作)



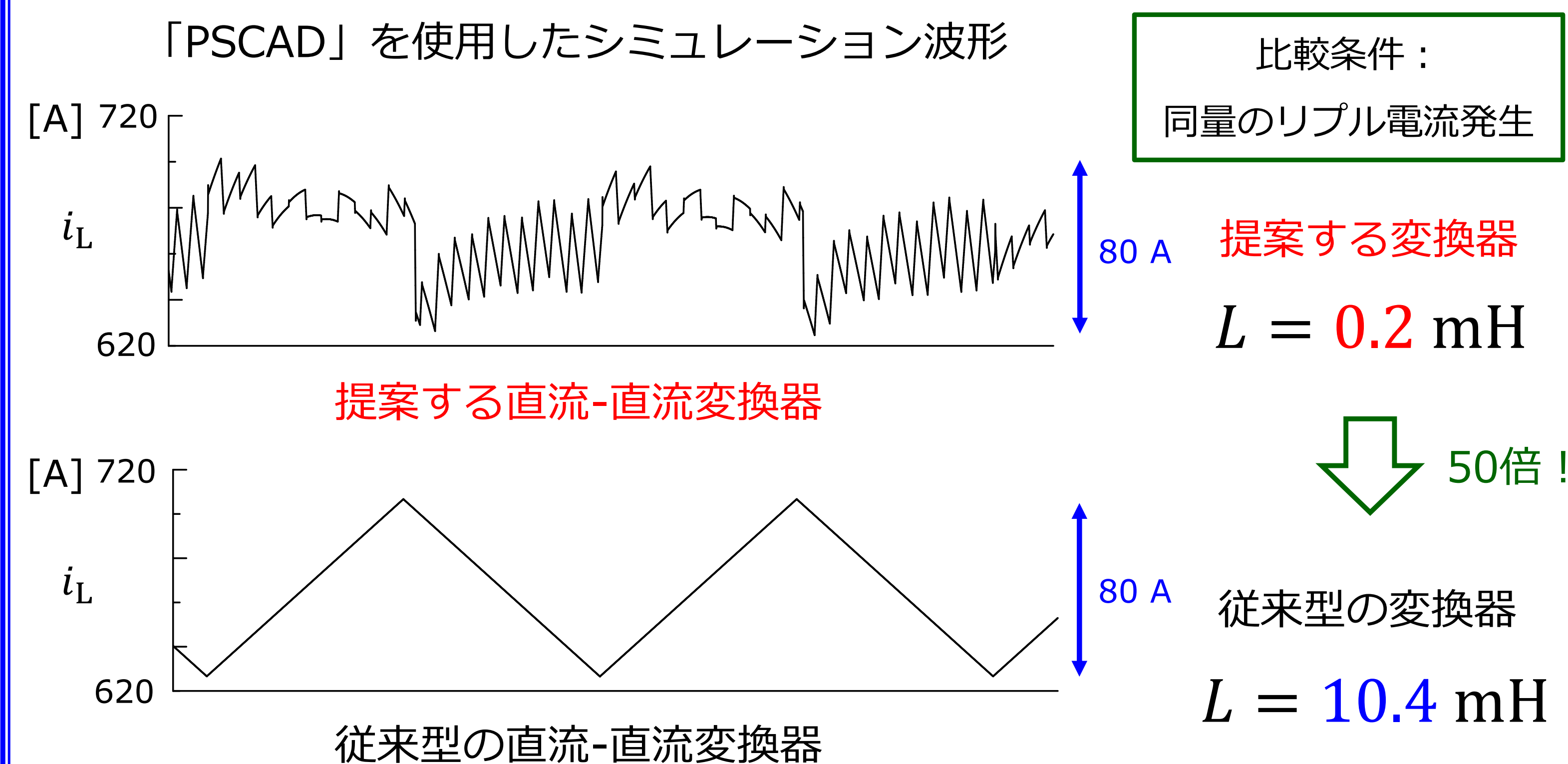
電流指令値変化時の過渡特性

高圧側電圧急変時の過渡特性

実験波形の出典 大西、萩原: 「補助変換器を有する双方向チョッパの制御法と動作検証」、電気学会産業応用部門誌、vol. 138, no. 7, pp. 644-654 (2018-7)

良好な定常・過渡特性の実現を確認

4 従来回路と比較したインダクタンス低減効果



従来型変換器と比較し、インダクタンスを1/50に低減可能

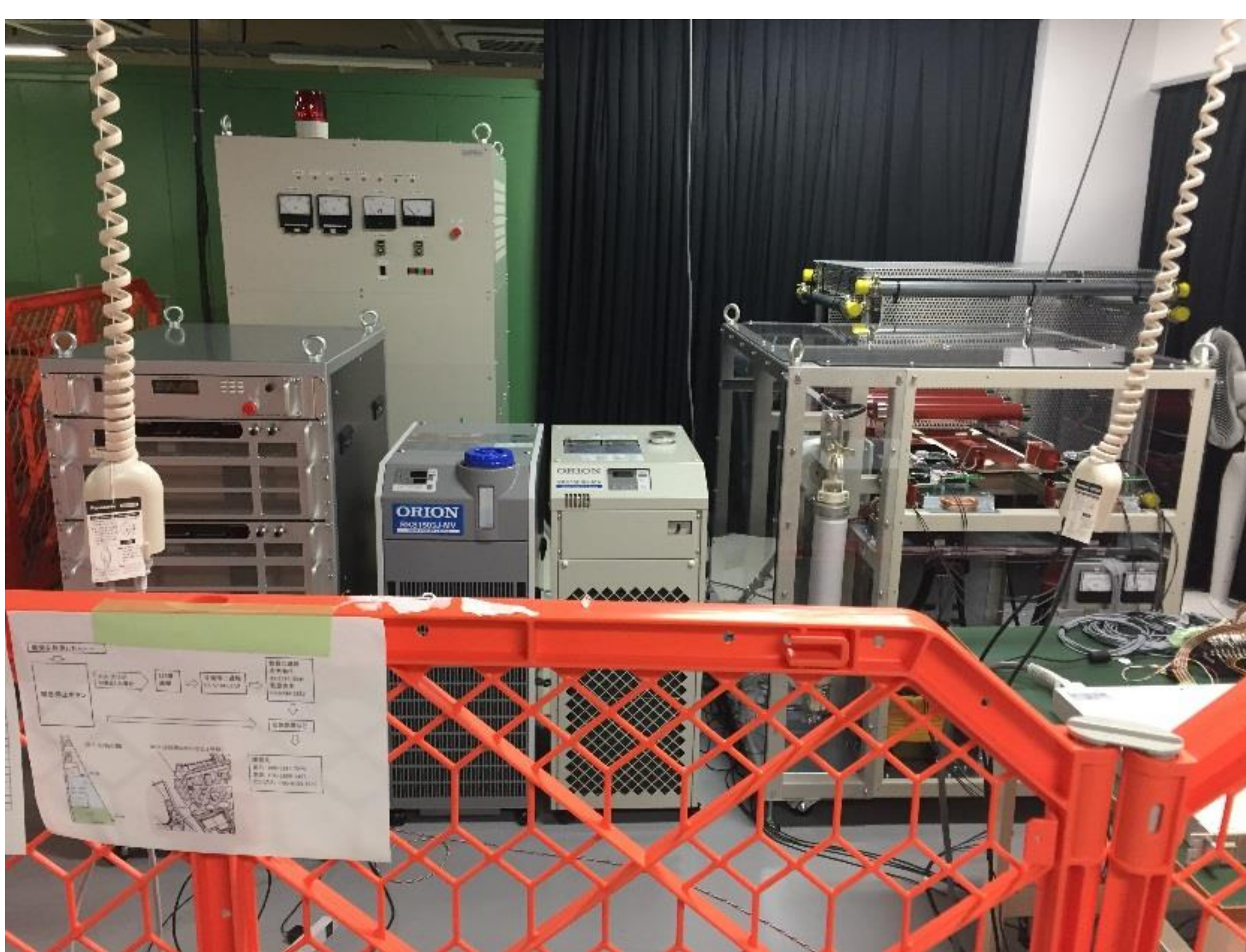
小型・軽量・高性能直流-直流変換器の実現が可能

1 主な研究テーマ

- ▶ バッテリー車載型直流電気鉄道への適用を目的とした補助変換器を用いた双方向チョッパ回路
- ▶ 次世代パワーデバイスである6.5kV SiC-MOSFETパワーモジュールの連続スイッチング試験
- ▶ 次世代多端子直流送電(HVDC)システムに適用可能な直流遮断器評価装置
- ▶ 有効電力を調整可能なSDBC(Single-Delta Bridge-Cell)変換器に関する研究

2 最近の研究成果

次世代パワーデバイスである6.5kV SiC-MOSFETパワーモジュールの連続スイッチング試験



6.5 kV SiCパワーモジュール用連続スイッチング試験の外観

従来、パワーデバイスの材料として安価で加工性の良いシリコン(Si)が使用されてきましたが、近年炭化珪素(SiC)を用いた次世代パワーデバイスであるSiC-MOSFETが注目を集めております。日本では3.3kV SiC-MOSFETパワーモジュールを用いたモータドライブシステムが、電気鉄道用途として適用されています。一方、電力用途では6.5kV耐圧を有するパワーデバイスの適用が期待されています。現在はシリコンを用いた6.5kV IGBTが実用化されていますが、スイッチング損失低減の観点から数100 Hz以下に制限されるという問題点が存在してきました。

本研究室では、6.5kV SiCパワーモジュールを用いた連続スイッチング試験回路に関して検討しております。SiCパワーモジュールは低損失であるため、スイッチング周波数を3 kHz以上に増加させることが可能です。本研究室では左図に示す直流3.5 kV、変換器容量520 kVA、スイッチング周波数3.15 kHzの単相インバータ回路を構築し、連続スイッチング試験を実施しました。詳細な損失解析を行った結果、任意の負荷力率角において変換器効率99%以上が実現できることを明らかにしました。

次世代多端子直流送電(HVDC)システムに適用可能な直流遮断器評価装置

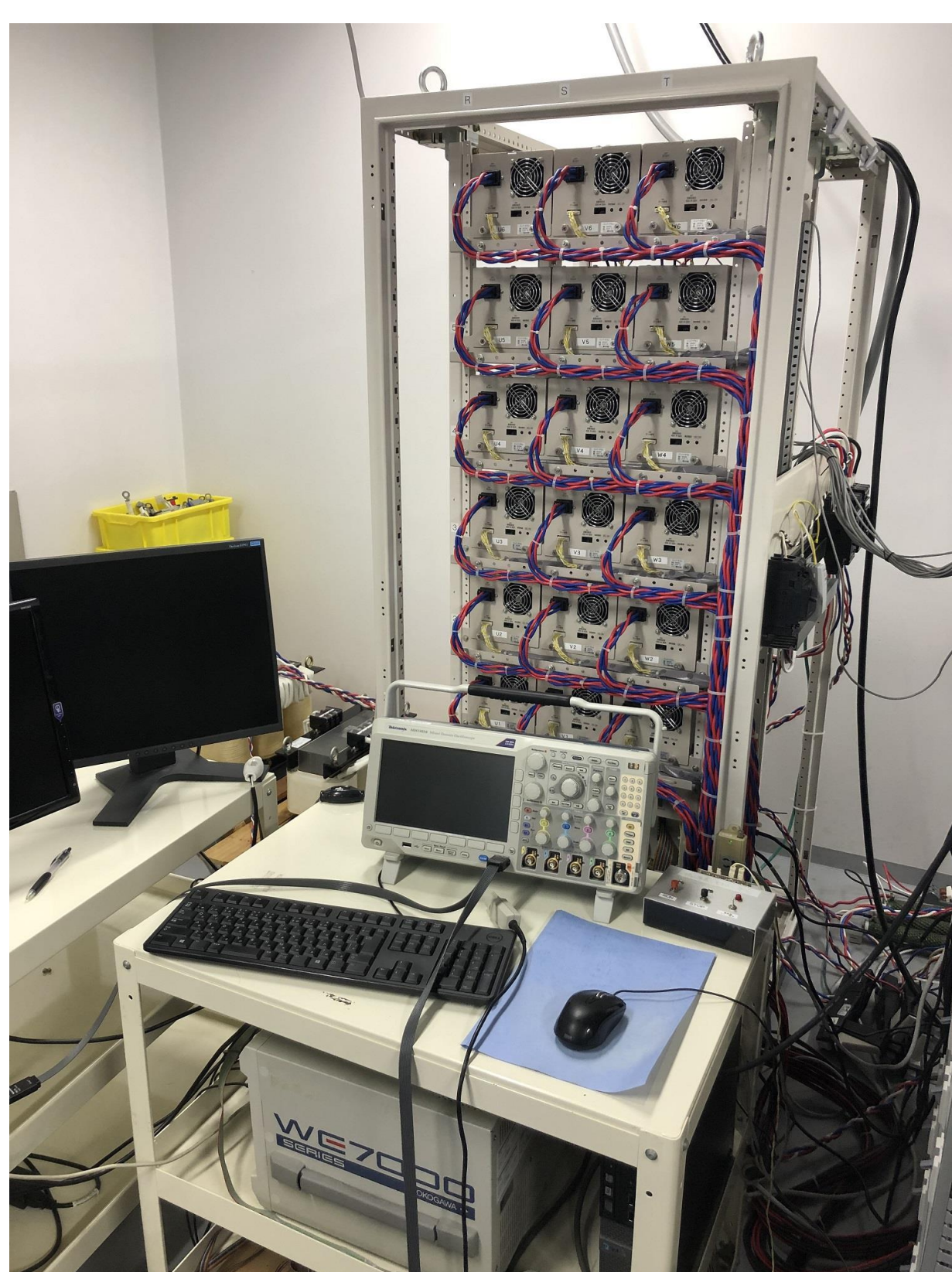


直流遮断器評価装置の外観

直流電気鉄道や実用化が期待される多端子直流送電システムでは、短絡事故が発生した場合に回路を遮断する直流遮断器の設置が必要不可欠です。直流遮断器は事故時に数kAの大電流が流れ、同時に数100 kVの高電圧が印加されます。一方、直流遮断器を評価する際、上記の高電圧・大電流を正確に模擬する必要があります。従来の直流遮断器評価装置は、大型なインダクタが必要、低い電圧・電流調整能力、機械的部品の磨耗という問題がありました。

本研究室では、最新の半導体電力変換技術をベースとした直流300V、50A定格(本実験室で可能な最大容量)の新直流遮断器評価装置を設計・製作し、実験により動作原理検証を行っております。現在、数100 A/msの事故電流の模擬に成功しており、更なる大電流化・高電圧化を目指し研究を行っております。得られた実験データは権威ある国際会議であるECCE2019で発表しました。

有効電力を調整可能なSDBC(Single-Delta Bridge-Cell)変換器に関する研究



有効電力を調整可能なSDBC変換器の外観

近年、系統安定度向上、電圧調整を目的とし数10 MVA級無効電力補償装置の導入が進んでおります。従来、無効電力補償装置用半導体電力変換器として変換器用変圧器を用いた方式が適用されてきましたが、近年変圧器を用いずに高圧系統に連系可能なモジュラー・マルチレベル・カスケード変換器(MMCC)の適用が開始されております。特に、単一デルタ結線を有するMMCCの一方式であるSDBC変換器は、無効電力補償装置としての特性に優れていることから、複数のメーカーが実用化、もしくは実用化を目指しております。

一方、SDBC変換器は無効電力を調整できますが、有効電力を調整できないという問題がありました。有効電力調整能力を具備することで蓄電システムとしての機能が実現でき、応用・適用先がより広がります。本研究ではSDBC変換器に単相高周波変圧器を挿入することで有効電力を調整可能な革新的回路方式を提案しております。提案方式の有効性・妥当性は、110 V、10 kVAミニモデルを用いた実験により確認しております。得られた結果は、電気学会産業応用部門誌2019年12月号に掲載されました。