

大容量に適した双方向絶縁型 DC/DCコンバータ装置

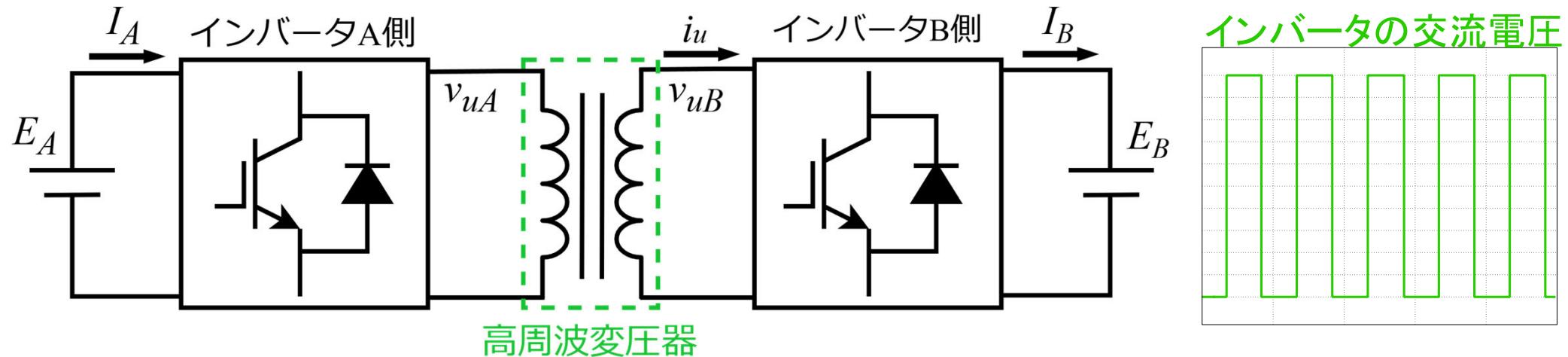
立命館大学 理工学部 電気電子工学科
教授 川畠 良尚

2025年10月9日

従来技術とその問題点

- ・ 地球温暖化対策としてエネルギー貯蔵装置を組み込んだスマートネットワークが注目されている。
- ・ IT技術によって、供給側と需要側の双方から電力量をコントロールできる送電網であるスマートグリッドでは、数百～千kW程度の電力を変換する必要がある。
- ・ 大容量を直流電力変換するには、複数台のDC/DCコンバータを組み合わせる必要がある。

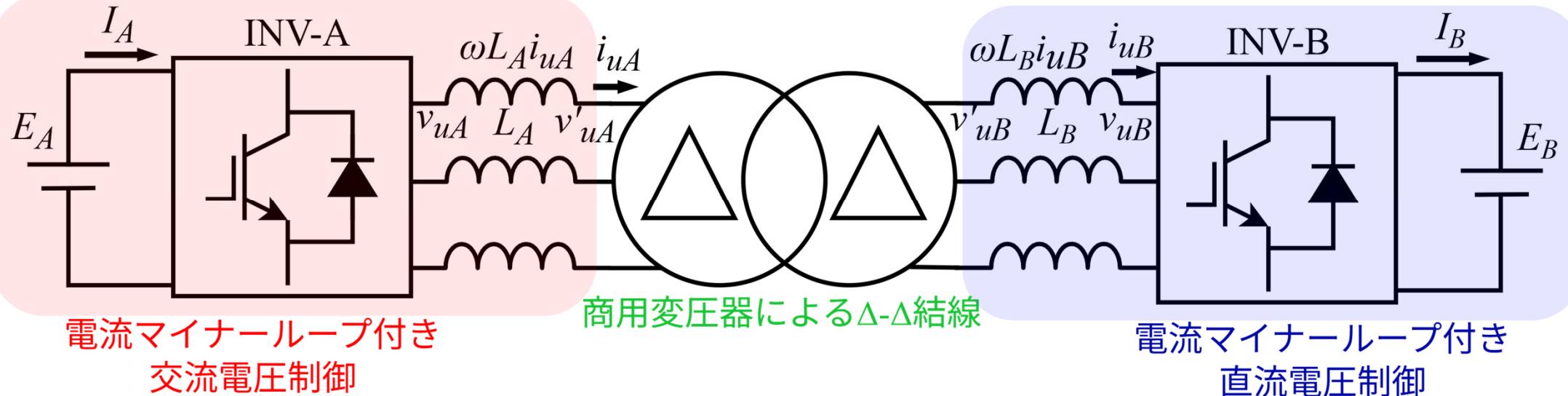
従来方式 高周波変圧器を用いたDC/DCコンバータ



＜利点＞変圧器の小型化ができるため、経済性や設置性の向上が可能

＜欠点＞数百～千kWの大容量電力を想定した場合、変圧器に使用される鉄心や冷却装置の設計に限界がある

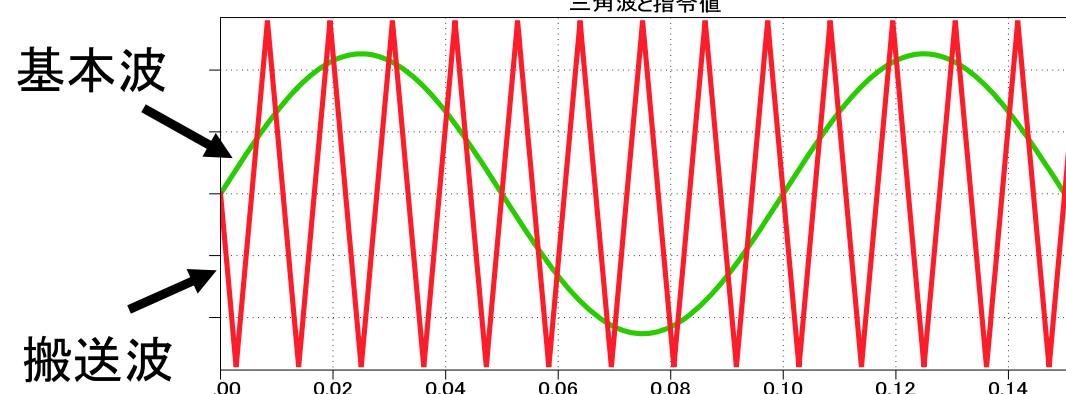
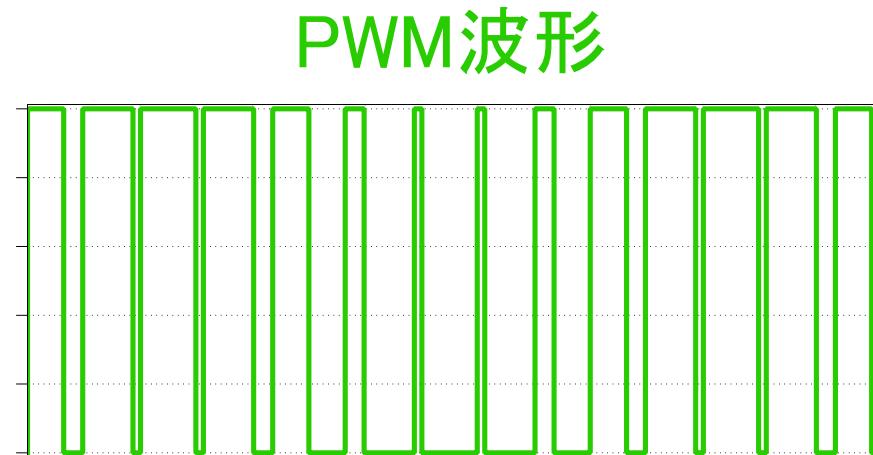
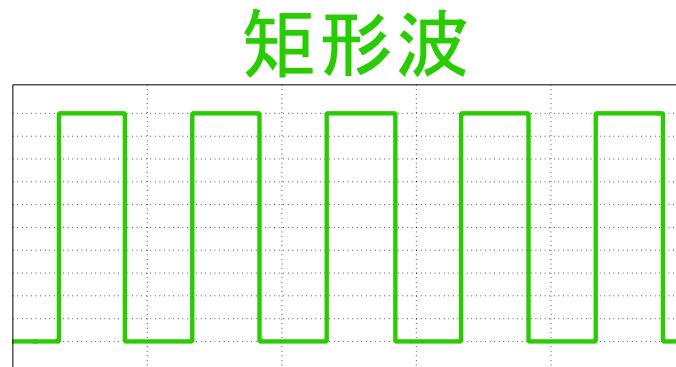
新技術の特徴



- ・インバータの出力電圧はPWM波形である。
- ・従来技術の問題点であった、変圧器にかかる電圧波形の基本波周波数を低くすることに成功した。

従来技術との比較

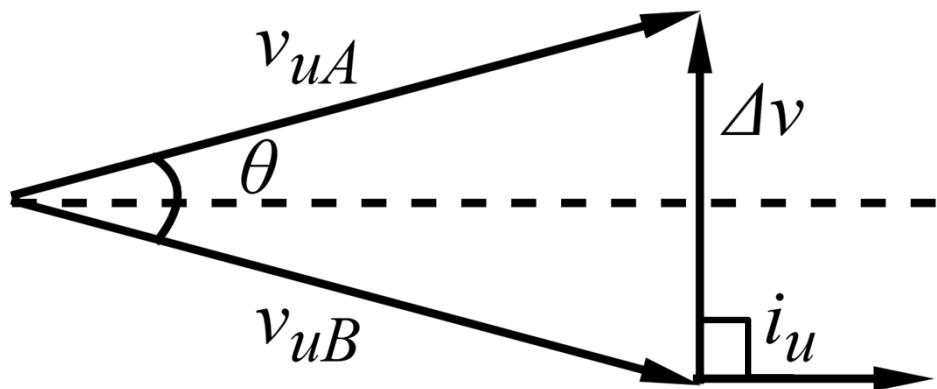
インバータの交流電圧



- 本技術の適用により、変圧器の大容量化が可能となり、商用変圧器も利用可能である。

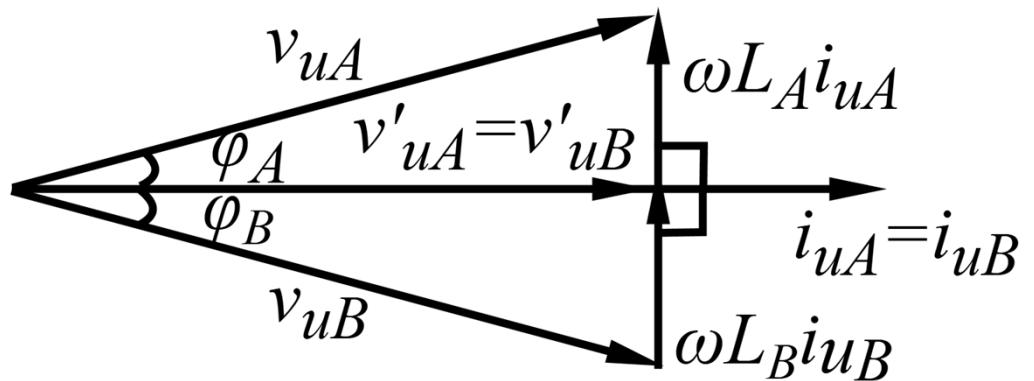
従来技術との比較

〈従来方式〉



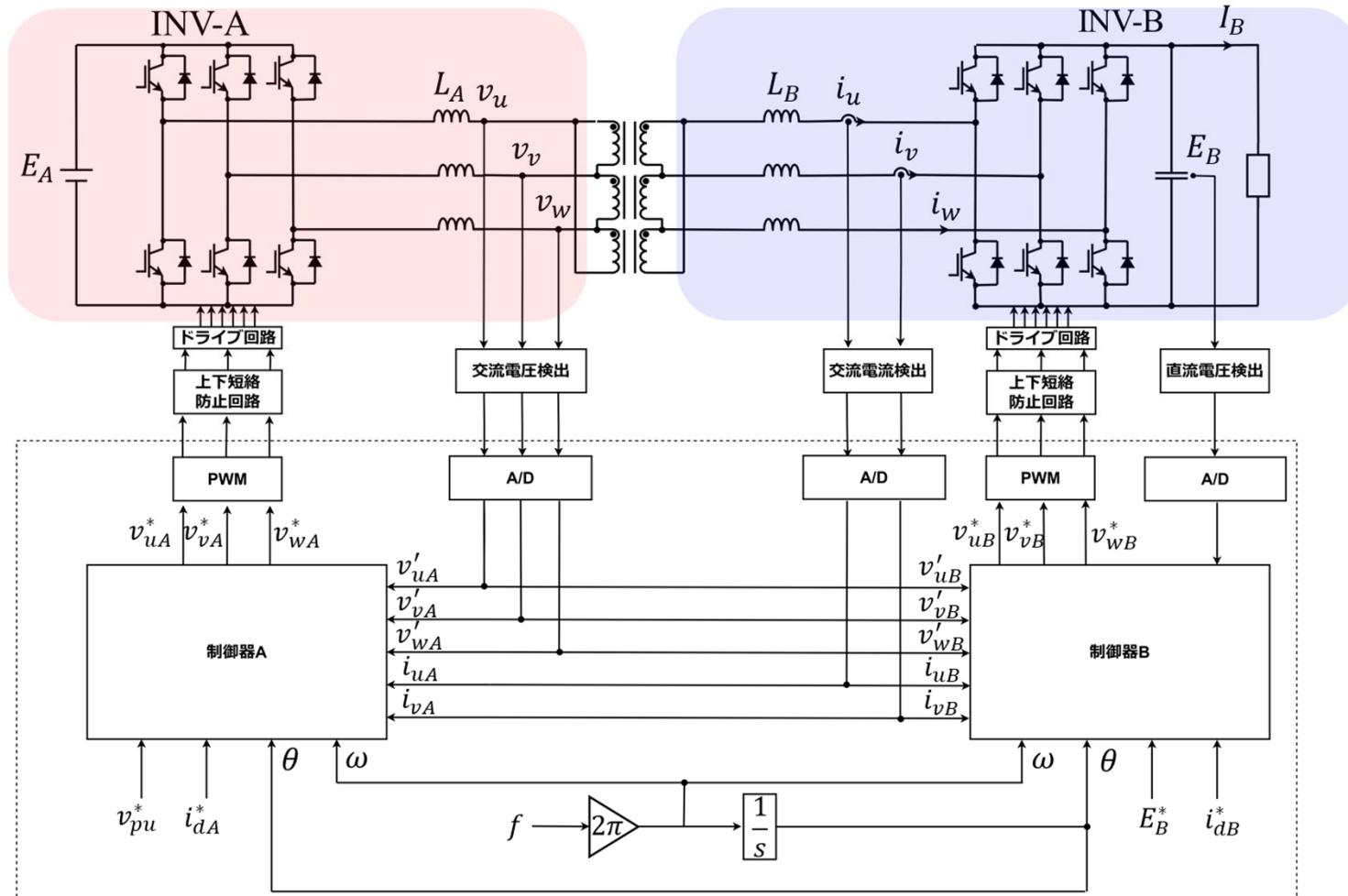
- ・ インバータA側とインバータB側で**位相差制御**
- ・ 電力は $\cos \frac{\theta}{2}$ で力率が良好

〈提案方式〉



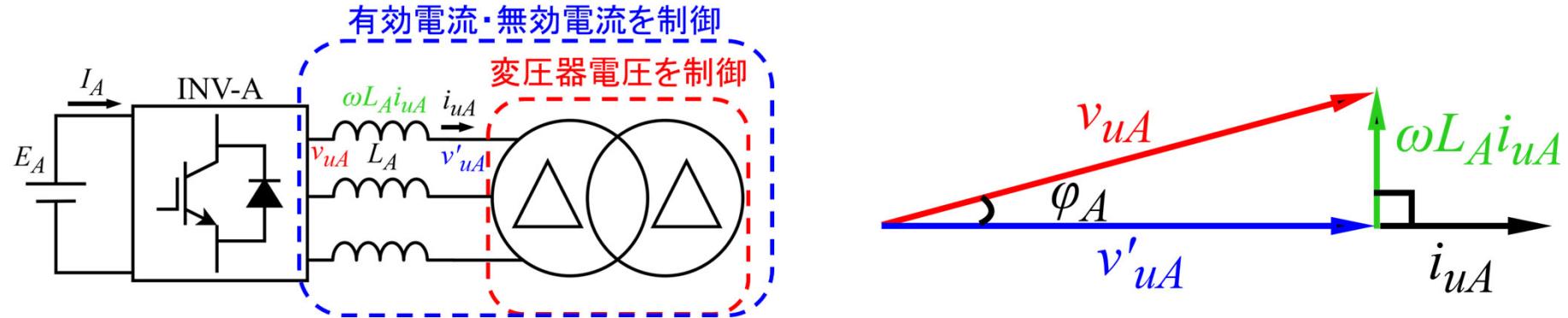
- ・ インバータA側→**電流マイナーループ付き交流電圧制御**
インバータB側→**電流マイナーループ付き直流電圧制御**
- ・ $v'_{uA} = v'_{uB}$ 、 $i_{uA} = i_{uB}$ となり、左図の点線に合うよう制御

システム構成図

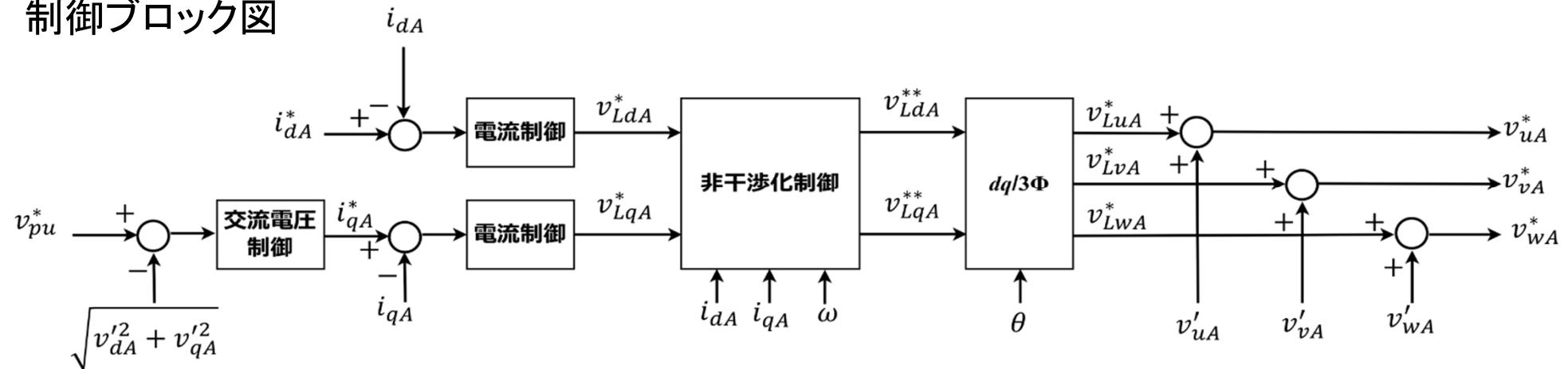


A側とB側のスイッチングを同期させる必要はない

電流マイナーループ付き交流電圧制御

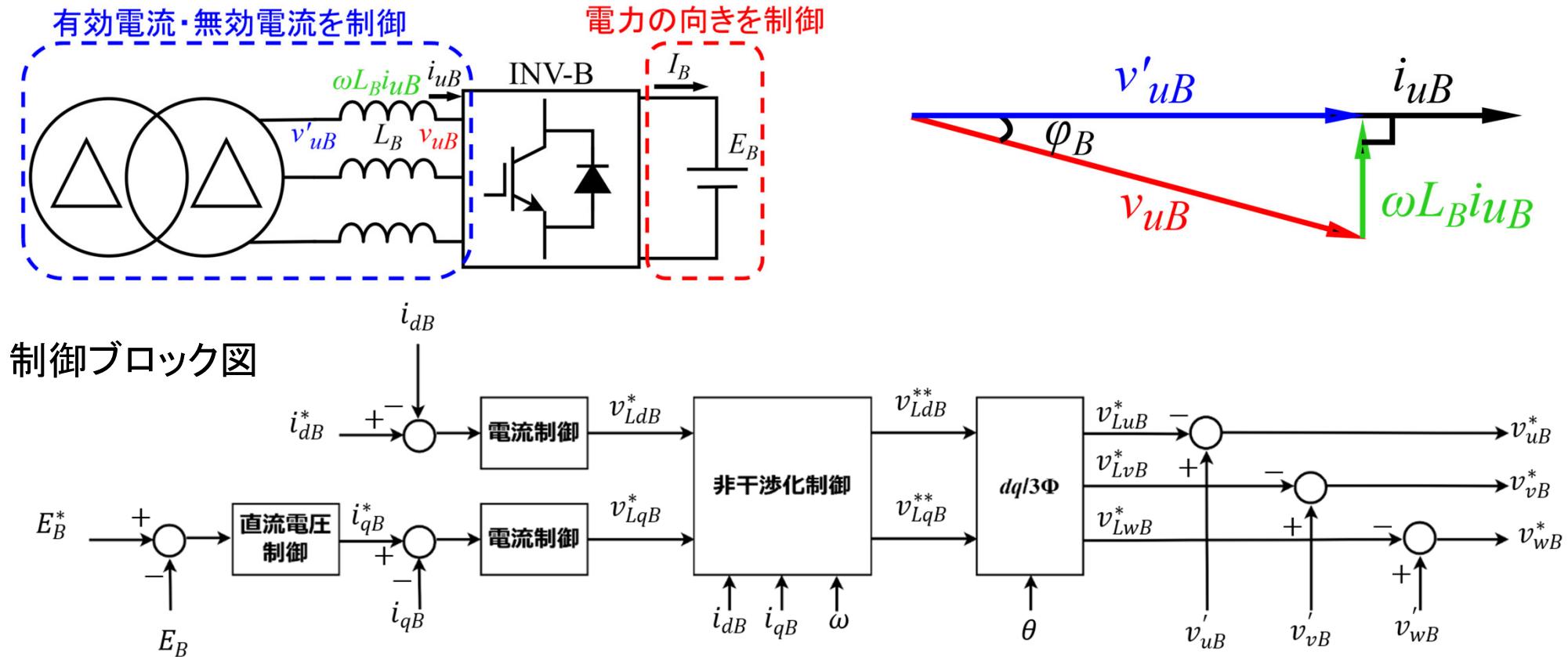


制御ブロック図



- 有効電流指令値 i_{qA}^* を生成し、**変圧器電圧を制御**
- リアクトル電圧指令値 v_{LdA}^* 、 v_{LqA}^* を生成し、**インバータA側の有効電流・無効電流を制御**

電流マイナーループ付き直流電圧制御

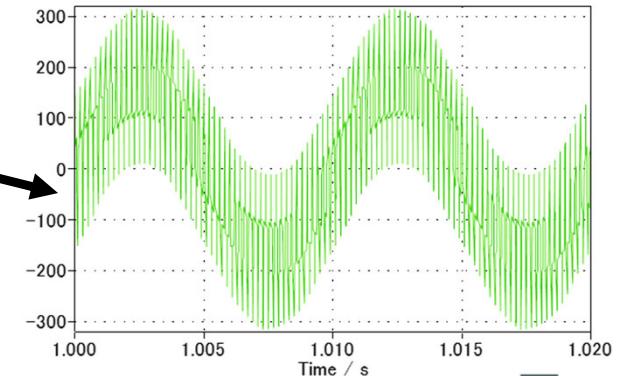


- 有効電流指令値 i_{qB}^* を生成し、直流電圧や電力を制御
- リアクトル電圧指令値 v_{LdB}^* 、 v_{LqB}^* を生成し、インバータB側の有効電流・無効電流を制御

検出回路

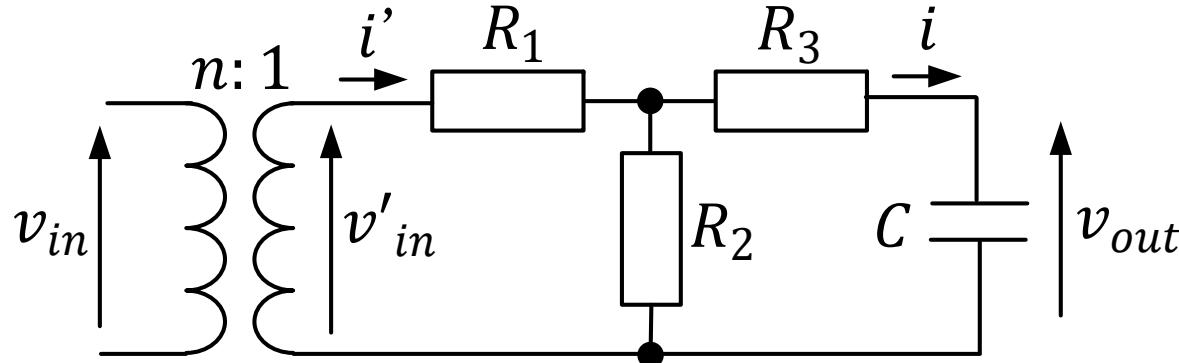
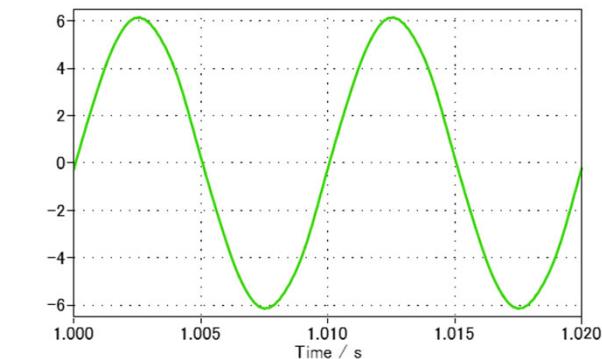
変圧器の電圧はスイッチング波形を含むためそのままでは利用できない

検出回路入力電圧



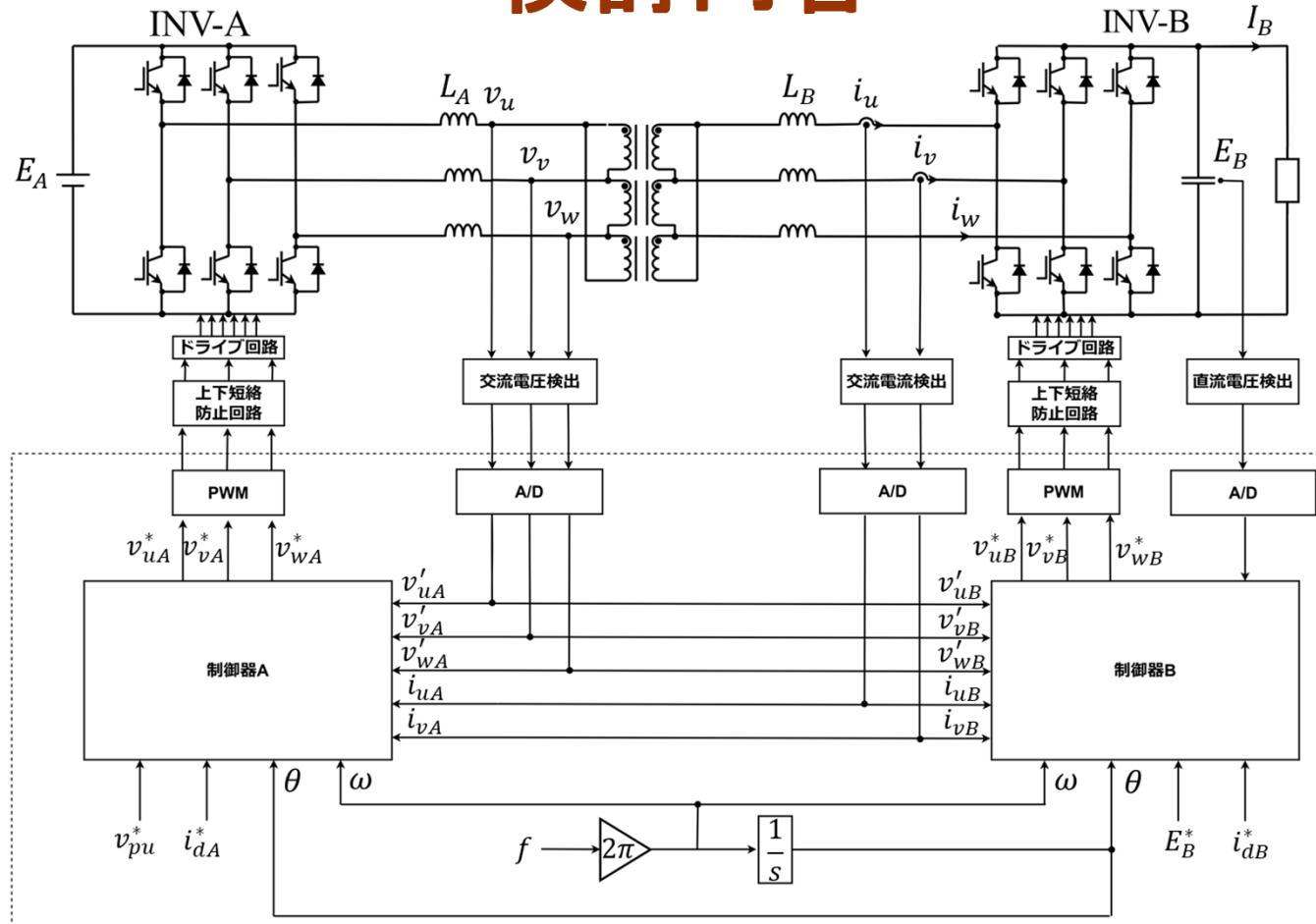
分圧回路+フィルタ回路

検出回路出力電圧



- 分圧回路により制御系に入力可能な範囲まで電圧を降圧
- フィルタ回路によりキャリア成分の除去

検討内容



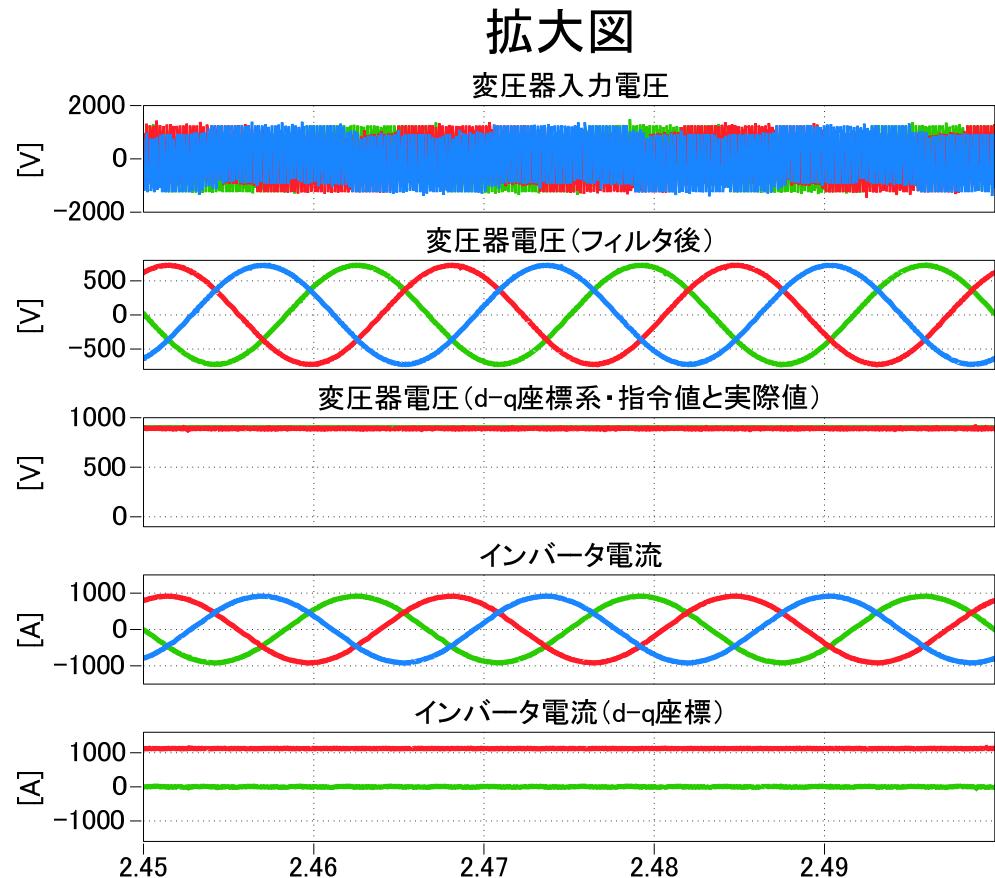
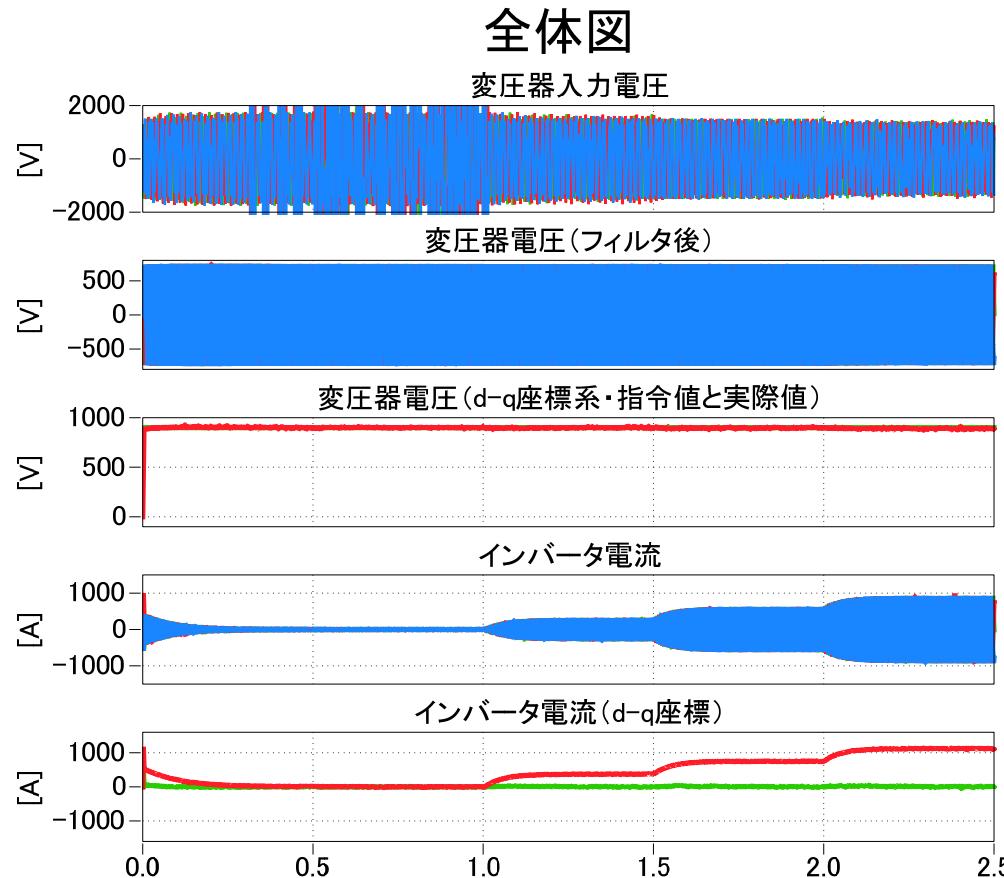
力行時と回生時の制御性能、双方向電力伝送の動作確認のため、パワーエレクトロニクスシミュレータPLECSを用いて検証を行う。

シミュレーションパラメータ

- 3300VDC 1200Aの電鉄用IGBTの使用を想定

定格電力	1MVA
定格直流電圧	1500V
定格直流電流	666.7A
定格交流電圧	900V
定格交流電流	641.5A
定格インピーダンス	1.40Ω
変圧器の巻数比	1:1
基本波周波数	60Hz
キャリア周波数	5kHz
デッドタイム	1.5μs
リアクトル L_A	0.372mH
リアクトル L_B	0.372mH
交流電圧指令値 v_{pu}^*	900V
INV-A側d軸電流指令値 i_{dA}^*	0A
直流電流指令値 i_{qB}^*	1.0s経過時:370.4A 1.5s経過時:740.7A 2.0s経過時:1111.1A
INV-B側d軸電流指令値 i_{dA}^*	0A

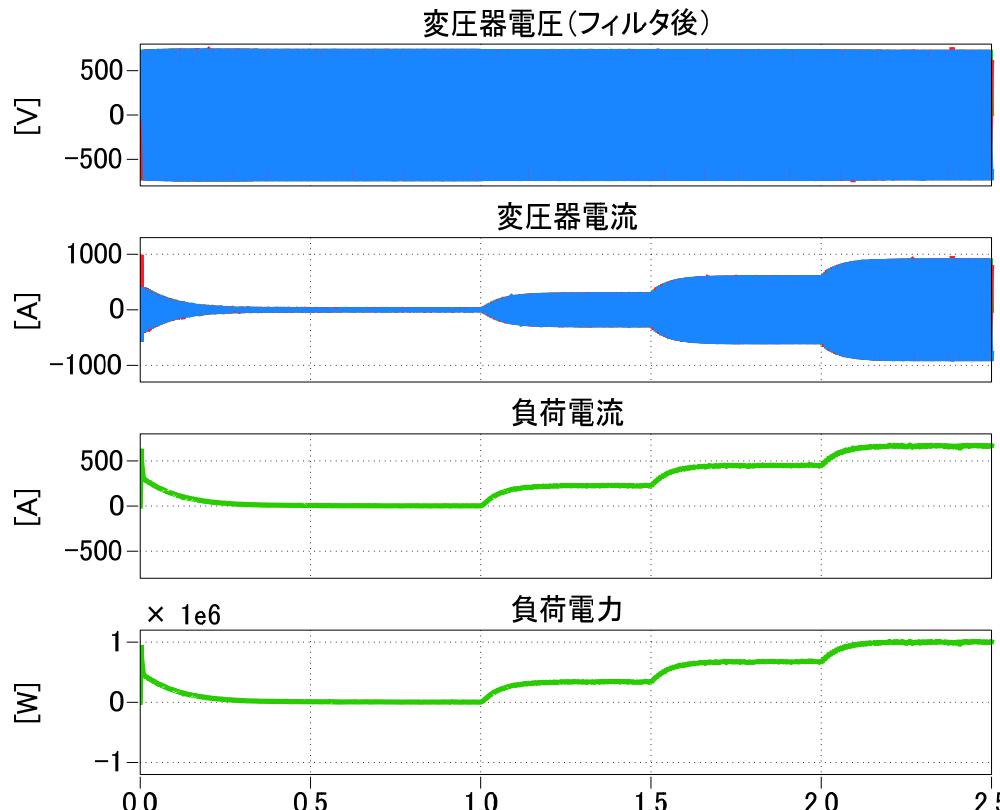
力行時のインバータA側



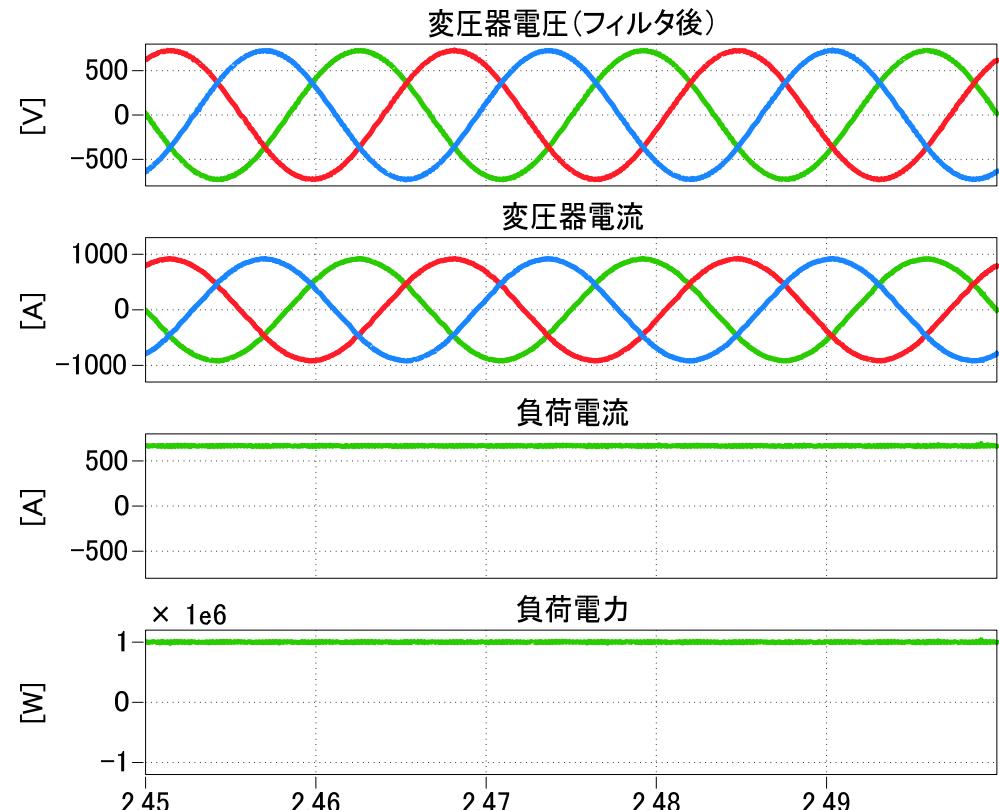
- 変圧器電圧は提案した電圧検出回路よりPWM波形がなめらかになり正弦波となつた
- 変圧器電圧及びインバータ電流のd-q座標系は指令通りに制御できていることを確認

力行時のインバータB側

全体図

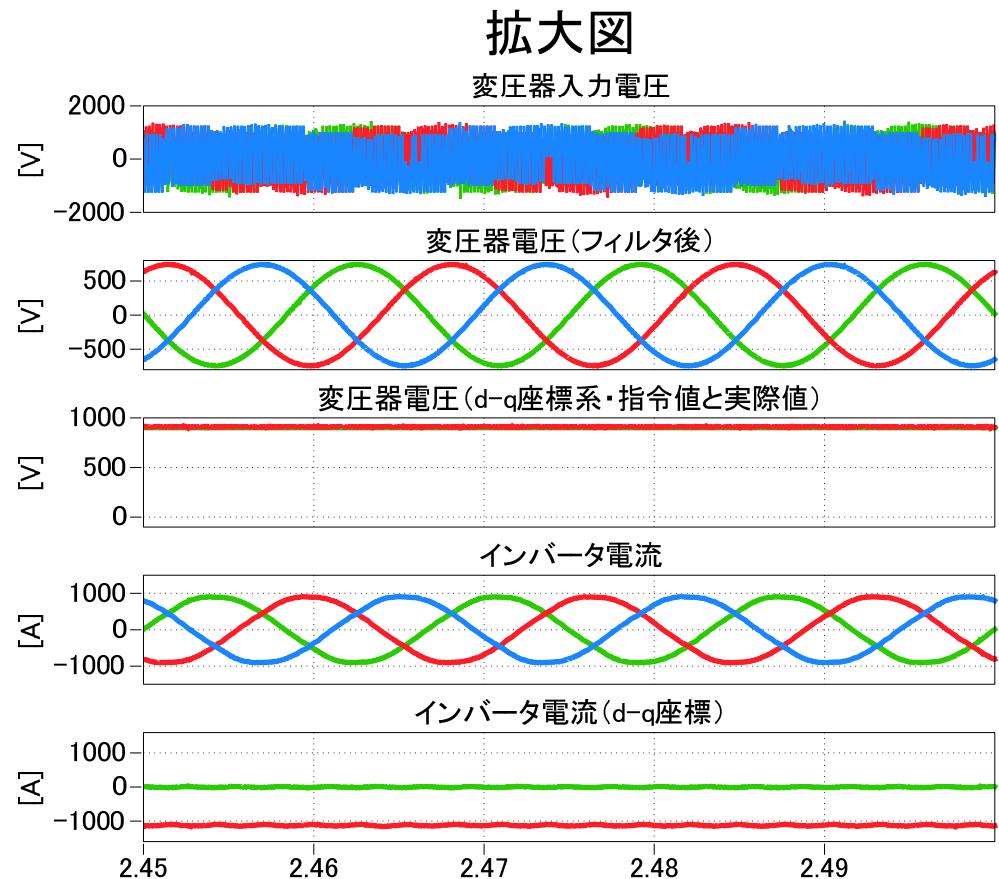
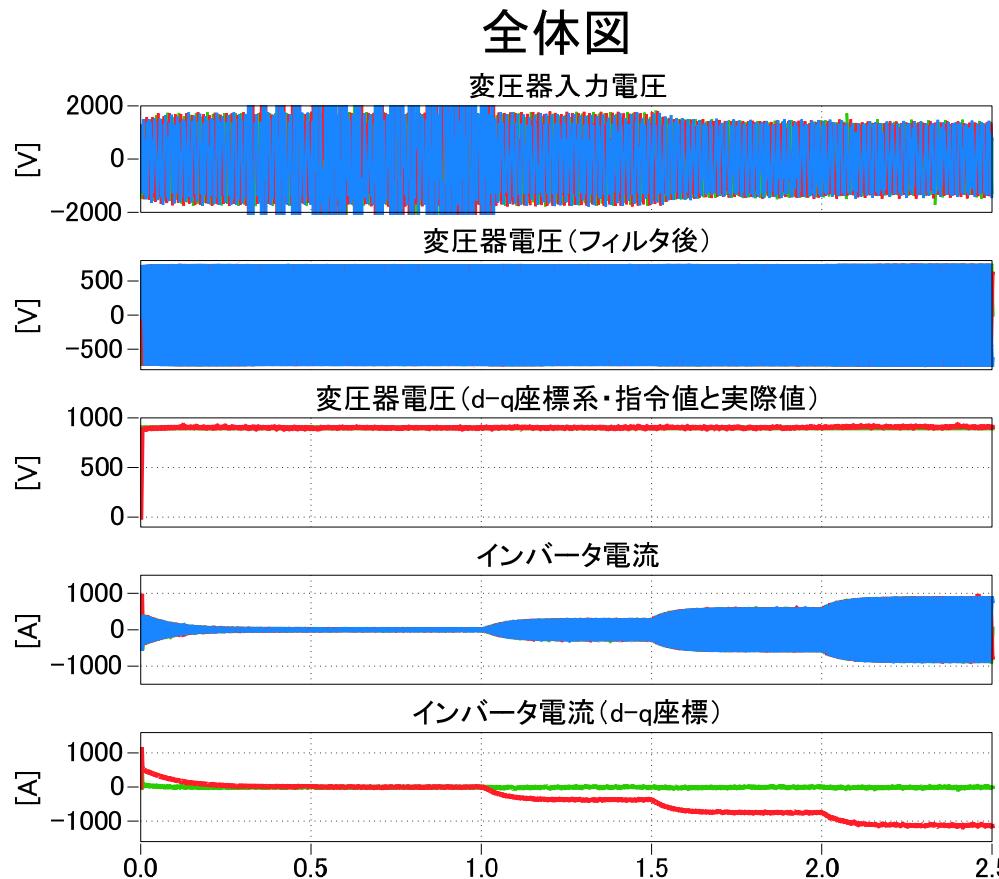


拡大図



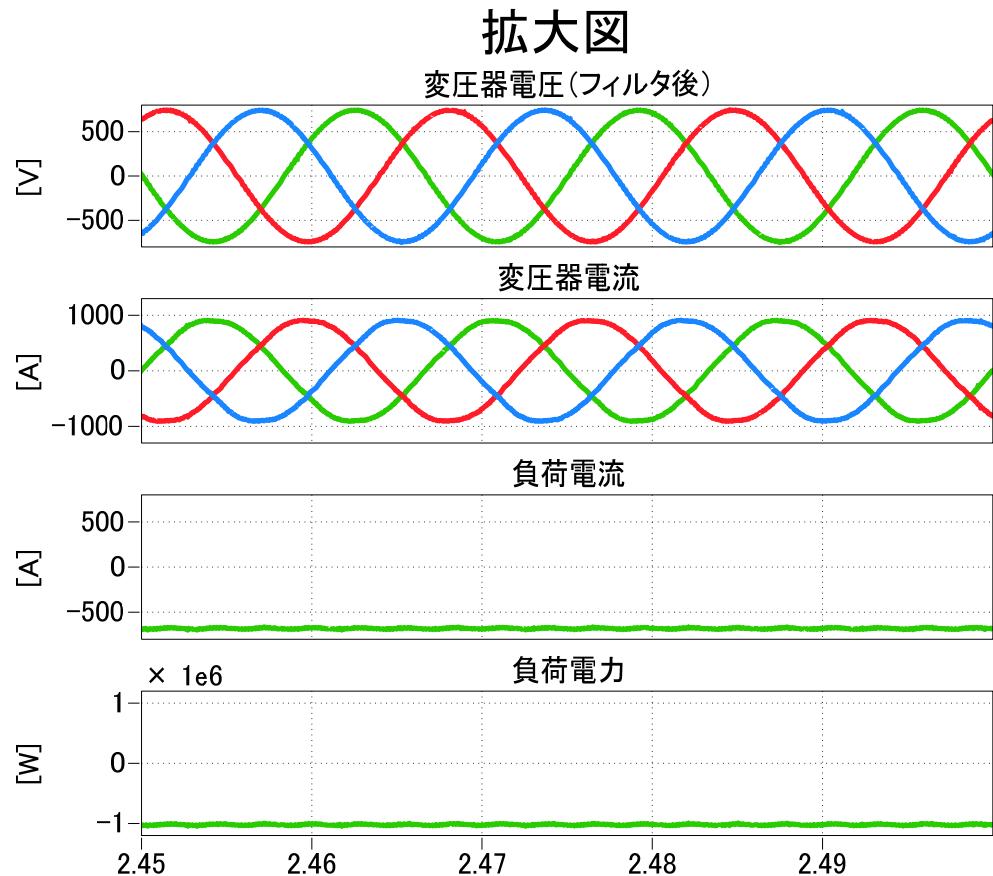
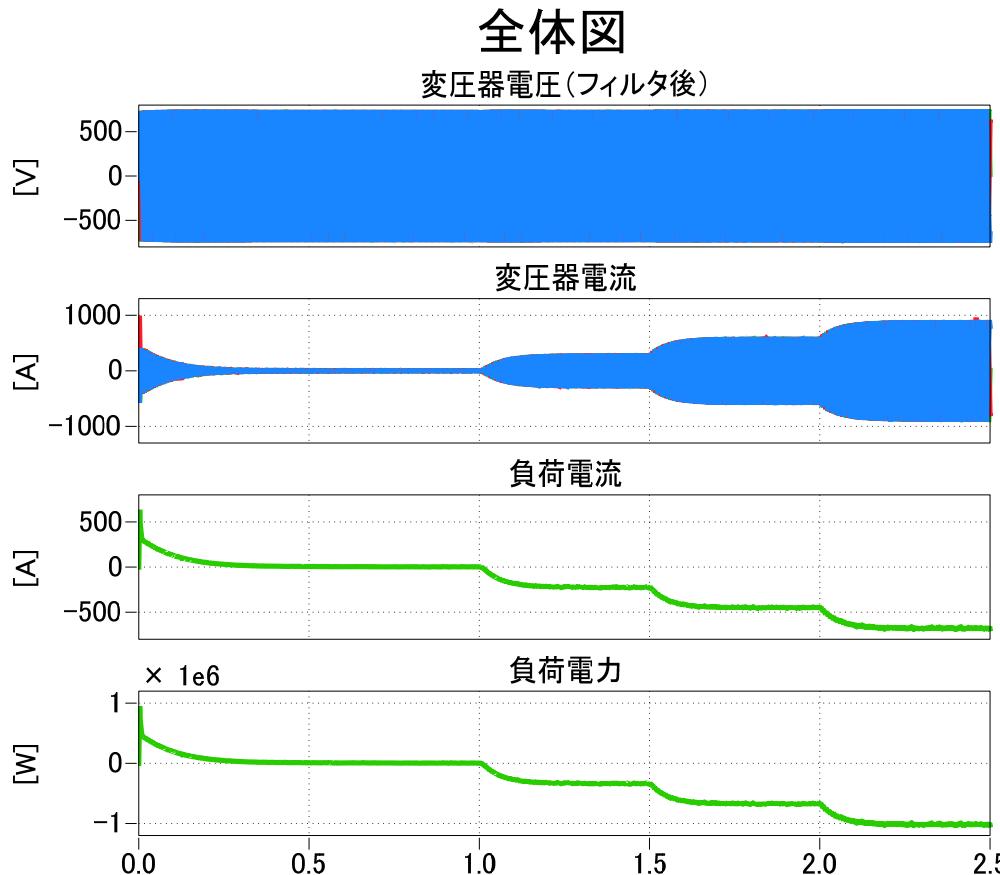
- 変圧器電圧 (フィルタ後) 及び変圧器電流は過変調無く、三相平衡
- 負荷電流及び負荷電力は指令通りに制御できており、定格電流及び定格電力を出力

回生時のインバータA側



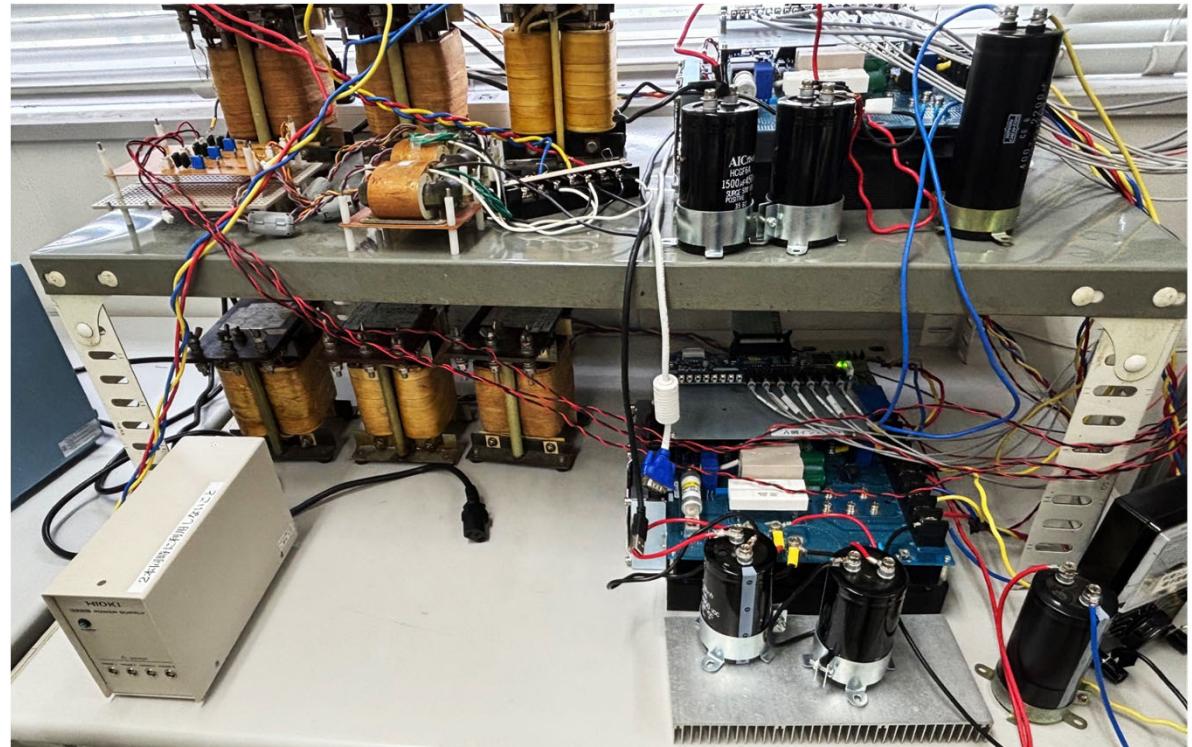
- 変圧器電圧は提案した電圧検出回路よりPWM波形がなめらかになり正弦波となった
- 変圧器電圧及びインバータ電流のd-q座標系は指令通りに制御できていることを確認

回生時のインバータB側



- 変圧器電圧 (フィルタ後) 及び変圧器電流は過変調無く、三相平衡
- 負荷電流及び負荷電力は指令通りに制御できており、定格電流及び定格電力を出力

ミニモデルの試作に向けた準備



- Mywayプラス製のPE-Expert4 の制御ボードを利用して構築中

想定される用途

▶データセンター向けDC/DCコンバータ

AIなどの普及により、電力増大が進んでいる。

データセンターは停電対策を行う必要があり、大型のUPSを利用しているが、種々の直流電圧定格が存在しており、提案する双方向のDC/DCコンバータを用いることで異なる電圧の直流間を系統連系できるようになり、システム全体を安定にできると考えられる。

実用化に向けた課題

本提案方式は、電圧制御型インバータと電流制御型インバータを組み合わせ、位相と電流の大きさにより大きな電力を制御できるものである。

- 大容量の変圧器や半導体デバイスの高周波化
 - システム全体を小型化できる
- 制御するための演算装置の高速処理化
 - 精度良い制御が可能となる

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・制御系の設計が完了	
現在	・ミニモデルの実現	
5年後	・大容量の変圧器や電力変換装置の設計	・電機メーカーとの連携 ・JSTなどへ応募し研究資金獲得
10年後	・実用化に向けたデータ取得 ・課題点の整理	・シミュレーションモデルとの比較

企業への期待

- 実機における制御系の構築はシミュレーション検証により可能と考えている。
- 大容量機システムに关心を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、直流電源の双方向電力伝送システムの展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は異なる直流電力を連系できるため、現在有する種々の直流定格電圧装置を系統連系できる。
- 多くの製品ラインナップを扱うことができるため、企業の財産を有用に活用できると考えている。
- 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで科学的な裏付けを行うことが可能。
- 本格導入にあたっての技術指導等

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 双方向絶縁型DC／DCコンバータ
- 出願番号 : 特願2024-217272
- 出願人 : 学校法人 立命館
- 発明者 : 川畠 良尚、川畠 隆夫

产学連携の経歴

- 2013年-現在 (株) TMEICと共同研究実施
- 2018年-現在 (株) IHIと共同研究実施
- 2020年-現在 草津電機（株）と共同研究実施
- 2020年-2025年 NEDO 事業（航空機用先進システム実用化プロジェクト）に採択
- 2022年-現在 三菱電機（株）と共同研究実施
- 2022年-現在 (株) 豊田自動織機と共同研究実施
- 2025年-現在 NEDO 事業（グリーンイノベーション基金事業／次世代航空機の開発）に採択

お問い合わせ先

立命館大学
研究部 BKCリサーチオフィス

TEL 077-561-2802
e-mail liaisonb@st.ritsumei.ac.jp