

C2000シリーズDSP用いた スイッチング電源回路における 軽負荷時の効率改善

Method for Improving switching Power Circuit Power Efficiency at Light Load
Based on DSP C2000 Series

小林研究室

高川, ◎ジンコウライ, 李慕容(群馬大学)

落合政司, 麻生真司(サンケン電気)

小堀康功, 小林春夫, 高井伸和, 志水勲(群馬大学)

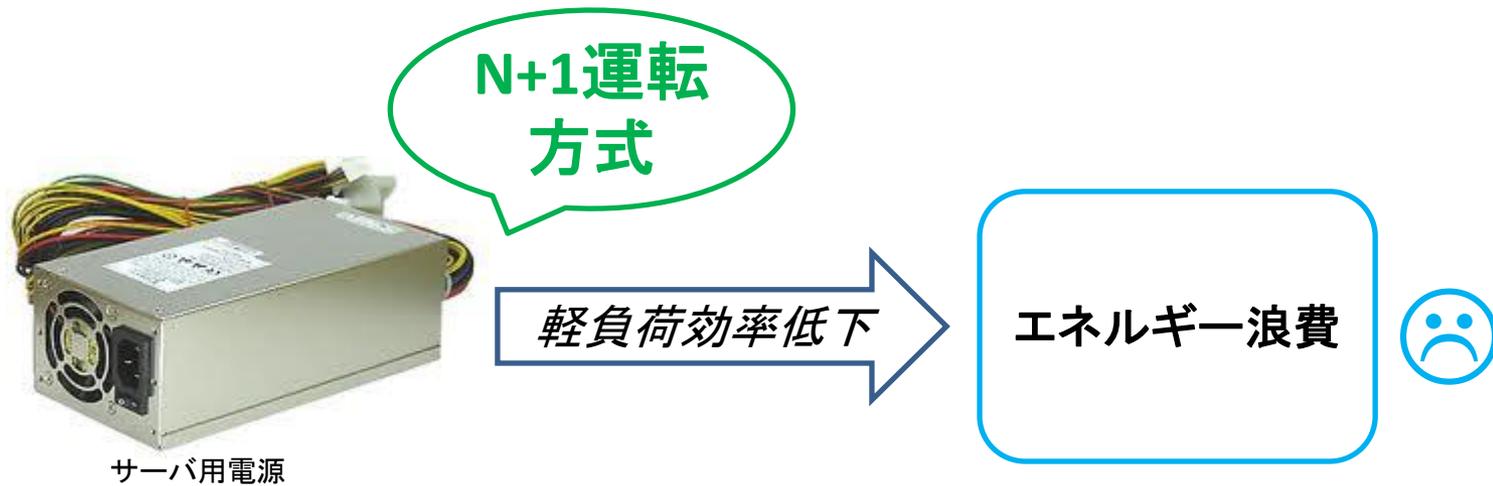
OUTLINE

- 研究背景・目的
- 研究方法
- BLPFC AC/DC変換回路部の検討
 - リンク電圧最適可変(@ 50% 負荷)
 - PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@ 5%~20% 負荷)
- PSFB DC/DC変換回路部の検討
 - PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@10%~20% 負荷)
- まとめ

OUTLINE

- **研究背景・目的**
- 研究方法
- BLPFC AC/DC変換回路部の検討
 - リンク電圧最適可変(@ 50% 負荷)
 - PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@ 5%~20% 負荷)
- PSFB DC/DC変換回路部の検討
 - PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@10%~20% 負荷)
- まとめ

サーバ用電源の省エネ傾向



- 「80 PLUS」電源効率80%以上標準



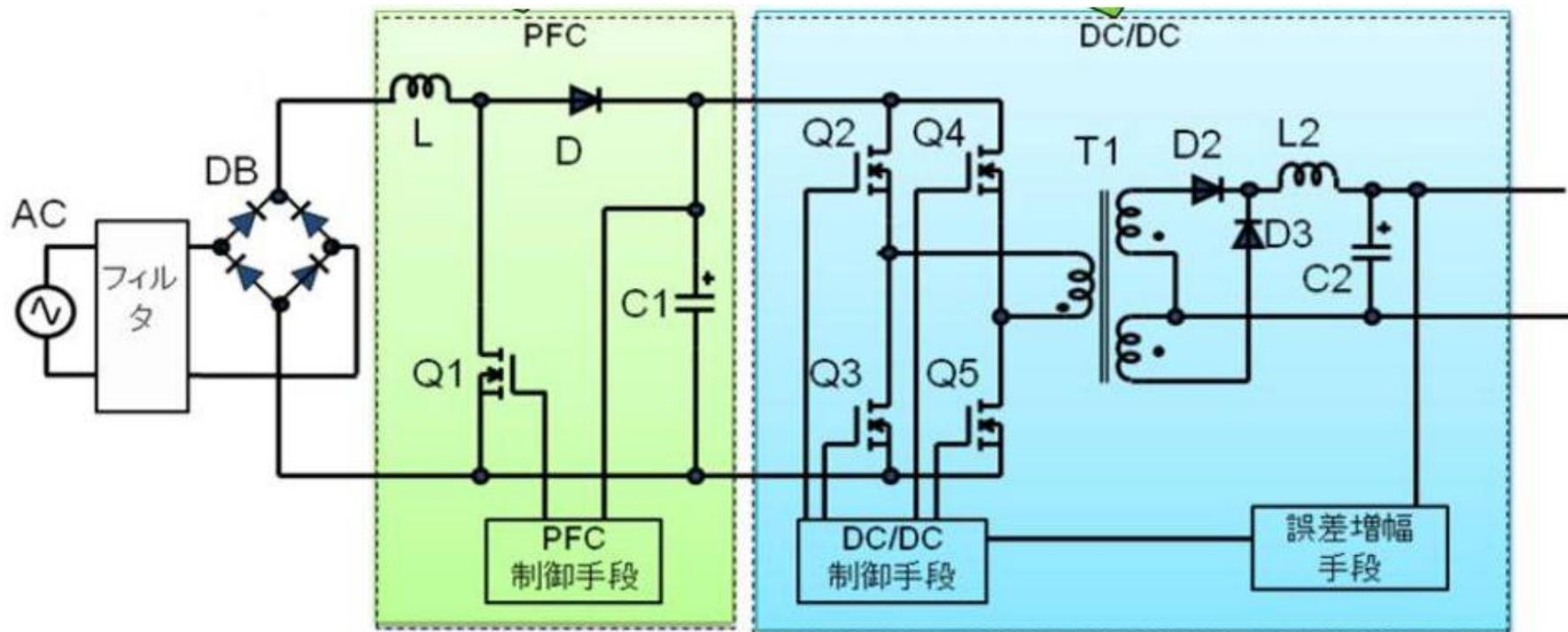
% of Rated Load	10%	20%	50%	100%
BRONZE	N/A	80%	85%	81%
SILVER	N/A	85%	89%	85%
GOLD	N/A	88%	92%	88%
PLANTINUM	N/A	90%	94%	91%
TITANIUM	90%	94%	96%	91%



研究目的

サーバ電源設計目標

サーバ電源回路構成AC/DC部分+DC/DC部分



N+1冗長運転方式

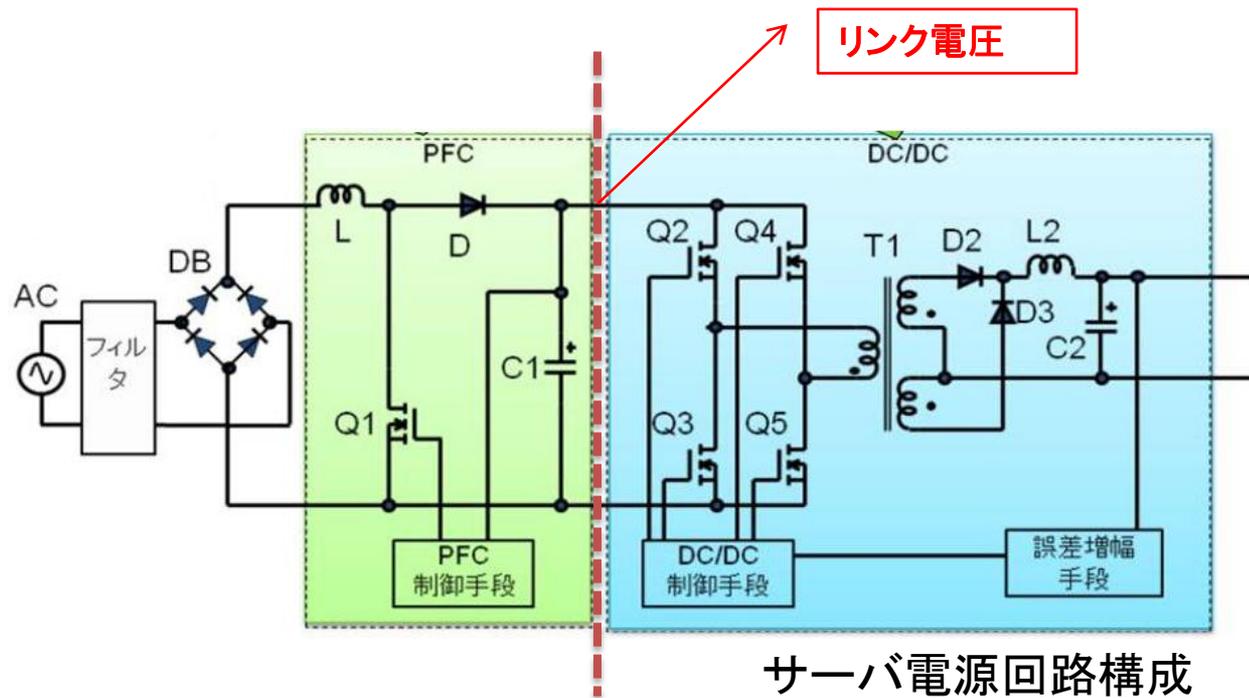
軽負荷

電源回路効率向上☺



研究目的

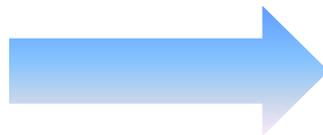
サーバ電源効率劣化の原因



リンク電圧高い

+

PWM固定周波数



効率劣化

研究目的

従来手法

現状のアナログ制御

[PFC]

・PWM(固定周波数)

・リンク電圧は一定

[DC/DC]

・PWM(固定周波数)



効率劣化



提案手法

最適制御

[PFC]

・PWM(周波数最適可変)

・リンク電圧は最適可変

[DC/DC]

・PWM(周波数最適可変)



回路トポロジー

Hardware



DSPデジタル制御

Software



OUTLINE

- 研究背景・目的
- **研究方法**
- BLPFC AC/DC変換回路部の検討
 - リンク電圧最適可変(@ 50% 負荷)
 - PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@ 5%~20% 負荷)
- PSFB DC/DC変換回路部の検討
 - PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@10%~20% 負荷)
- まとめ

研究方法

電源回路を二つの部分に分けて検討を行なう

BLPFC AC/DC 回路部分(Bridgeless Power Factor Correction AC/DC)

- リンク電圧の最適可変(@ 50% 負荷)
- PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@ 5%~20% 負荷)

PSFB DC/DC 回路部分(Phase Shift Full Bridge DC/DC)

- PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@10%~20% 負荷)

研究方法

開発ボード紹介

PFC部

TI製ブリッジレス PFC 開発用キットを使用

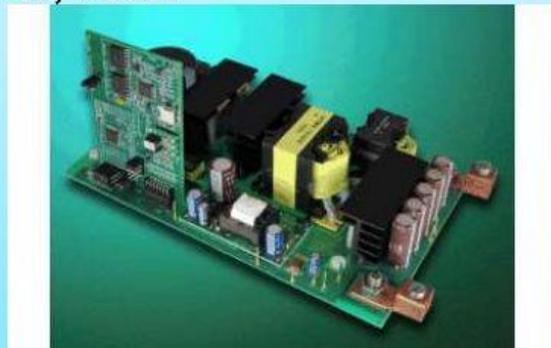
- Piccolo F28035 デジタル PFC 制御
- 300W ブリッジレス PFC
- 汎用 AC ライン入力 (85V ~ 265V)



DC/DC部

TI製デジタル制御フェーズ・シフト・フル・ブリッジ DC/DC コンバータ開発キットを使用

- 入力電圧 380V ~ 400V
- 出力 12V, 500W



BL PFC Electrical Specifications

- 400Vdc Output ← リンク電圧 →
- PWM frequency 200kHz

HVPSFB Kit Specifications

- 400V DC input 370Vdc to 410Vdc
- 100kHz switching frequency

OUTLINE

- 研究背景・目的
- 研究方法
- **BLPFC AC/DC変換回路部の検討**

リンク電圧最適可変(@ 50% 負荷)

PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@ 5%~20% 負荷)

- PSFB DC/DC変換回路部の検討

PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@10%~20% 負荷)

- まとめ

BLPFC AC/DC回路部分

リンク電圧の最適可変(@ 50%負荷)

リンク電圧高い



効率低



解決方法

入力電圧の検出
Vin_N, Vin_L



MCUに取り込む



交流入力の実効値の計算 V_{rms}



リンク電圧 $V_{out} = \text{最適昇圧比} \times V_{rms}$

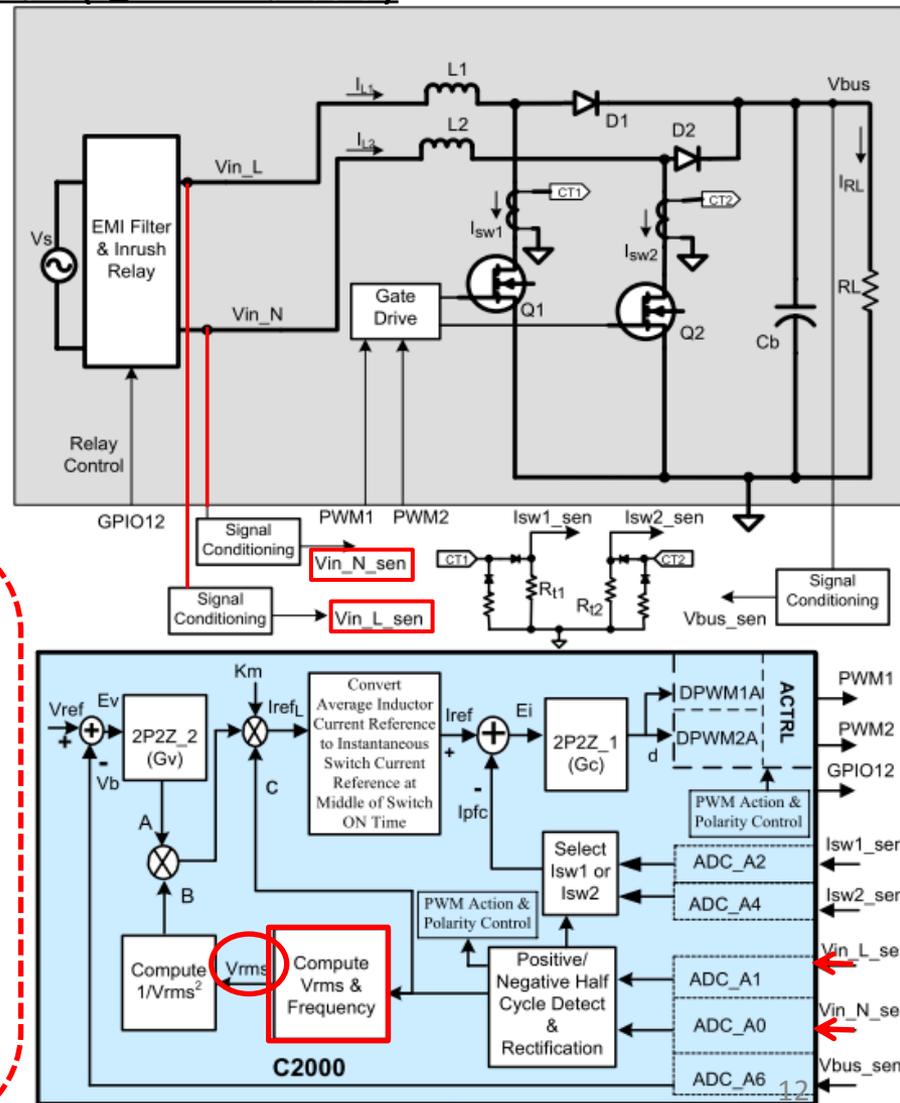


Figure 1.1 Bridgeless PFC Converter Control using C2000 Micro-controller

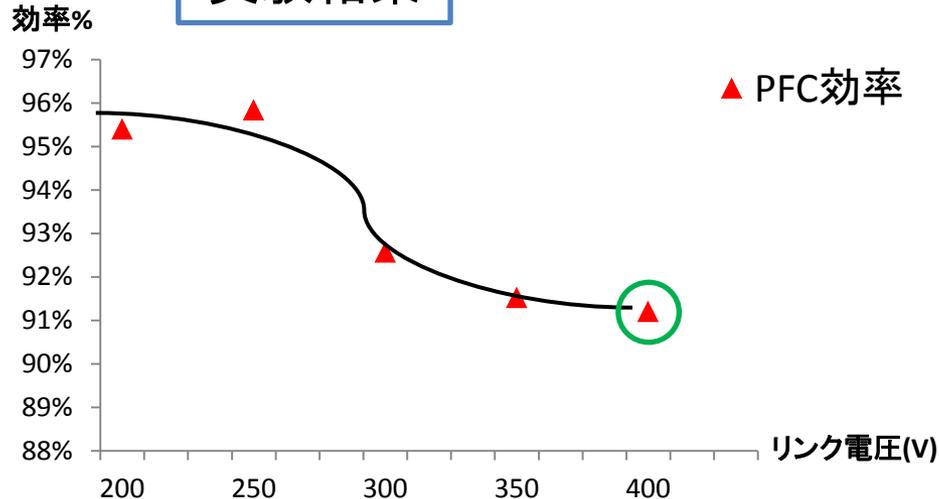
BLPFC AC/DC回路部分

リンク電圧の最適可変(@ 50% 負荷)

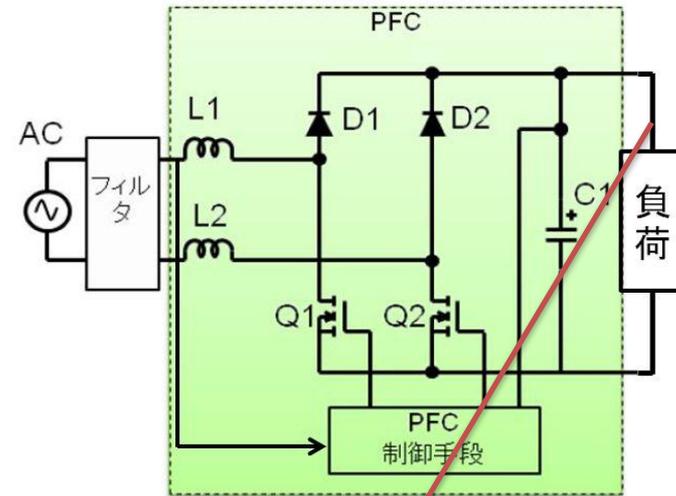
PFCボードリンク電圧の変化による50%負荷での効率向上効果の検討

- AC入力電圧 $V_{in}=100V$
- スイッチング周波数200kHz固定
- 負荷容量50%(150W出力)

実験結果



それぞれのリンク電圧に対応するハーフロードのPFCボード出力効率



リンク電圧 = 400V

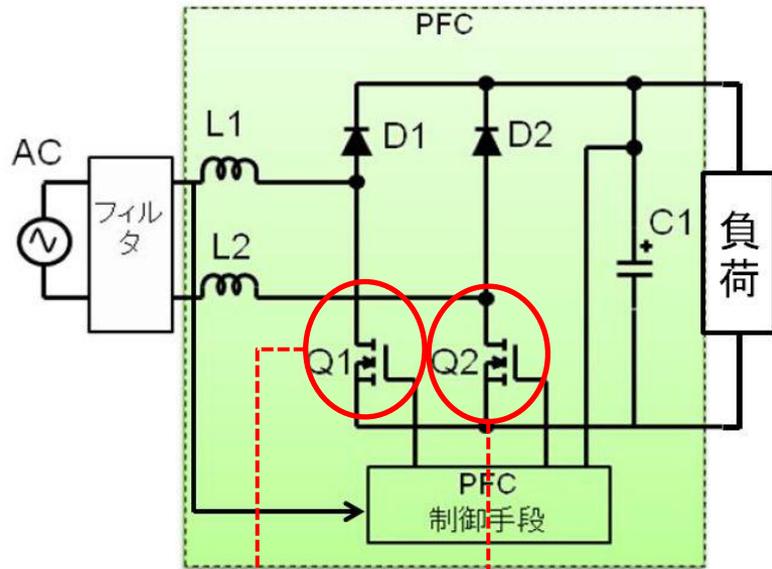
プログラムでリンク電圧
を可変にする
(プログラムで実現)

OUTLINE

- 研究背景・目的
- 研究方法
- **BLPFC AC/DC変換回路部の検討**
 - リンク電圧最適可変(@ 50% 負荷)
 - PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@ 5%~20% 負荷)
- PSFB DC/DC変換回路部の検討
 - PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@10%~20% 負荷)
- まとめ

BLPFC AC/DC回路部分

PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@ 5%~20%負荷)



PWM固定周波数

効率低@軽負荷(5%~20%負荷)

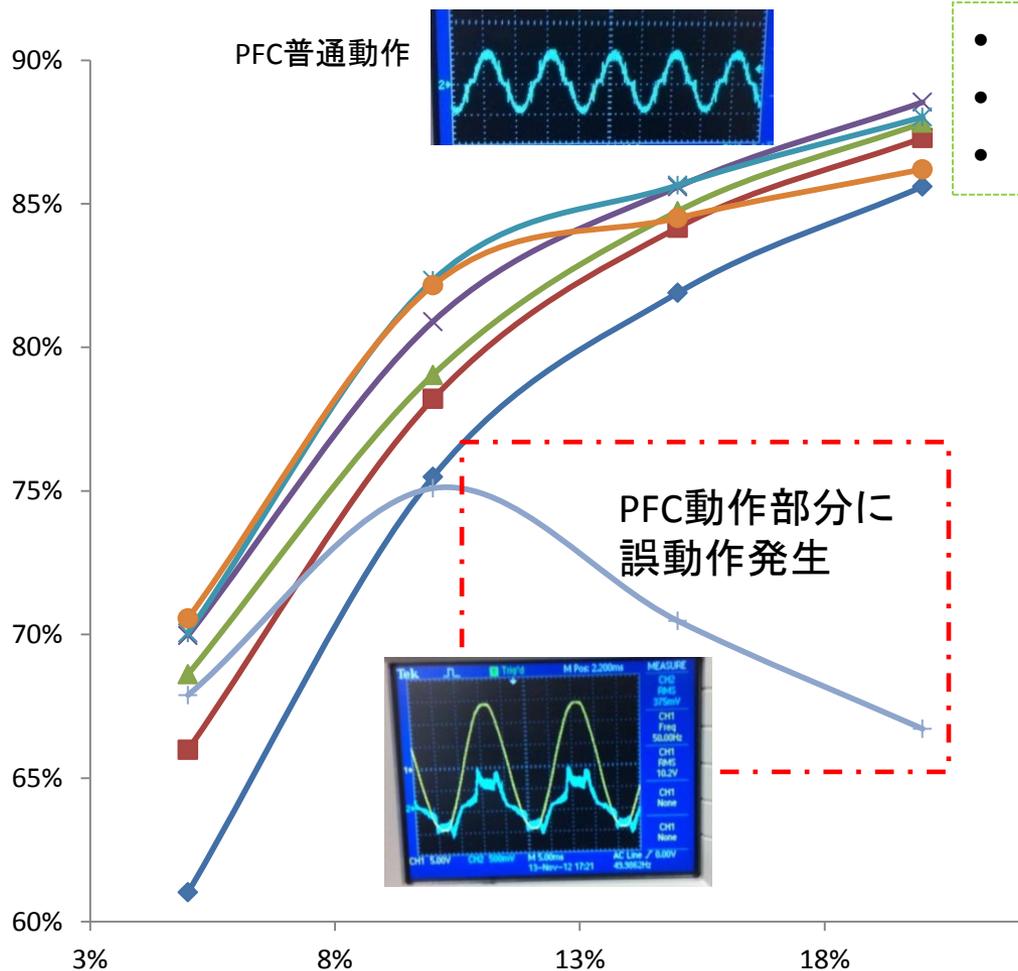
解決方法

可変周波数@軽負荷

BLPFC AC/DC回路部分

PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@ 5%~20%負荷)
異なるPWM周波数におけるAC/DC回路効率

効率



- AC入力電圧 $V_{in}=100V$
- 負荷容量50%(150W出力)
- リンク電圧(PFC出力電圧)300V固定

200kHz

190kHz

180kHz

170kHz

160kHz

150kHz

140kHz

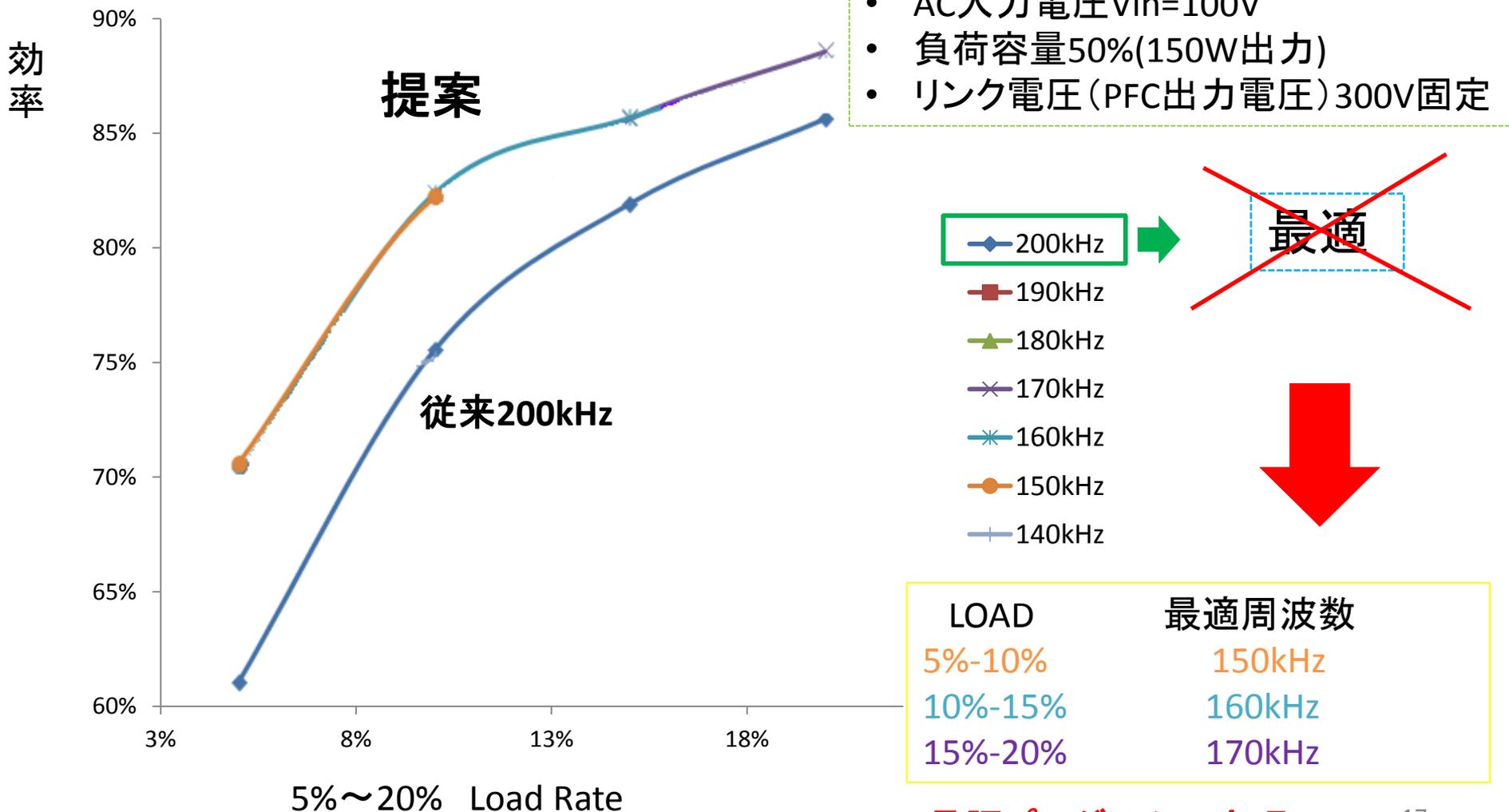
~~最適~~

AC/DC開発ボードで
実験

5%~20% Load Rate

BLPFC AC/DC回路部分

PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@ 5%~20%負荷)
最適周波数の効率向上効果



- AC入力電圧 $V_{in}=100V$
- 負荷容量50%(150W出力)
- リンク電圧(PFC出力電圧)300V固定

LOAD	最適周波数
5%-10%	150kHz
10%-15%	160kHz
15%-20%	170kHz

C言語プログラムで実現!

OUTLINE

- 研究背景・目的
- 研究方法
- BLPFC AC/DC変換回路部の検討

リンク電圧最適可変(@ 50% 負荷)

PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@ 5%~20% 負荷)

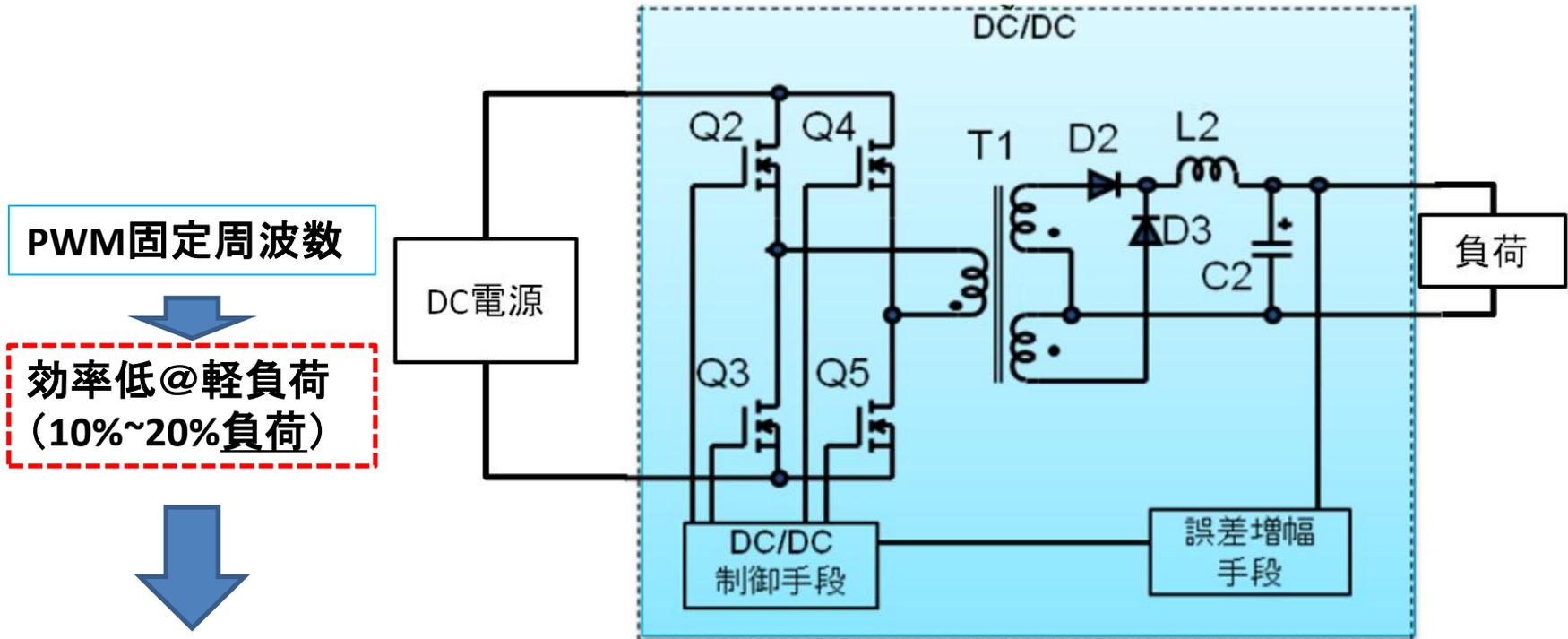
- PSFB DC/DC変換回路部の検討

PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@10%~20% 負荷)

- まとめ

PSFB DC/DC回路部分

PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@10%~20%負荷)



PWM固定周波数

効率低@軽負荷
(10%~20%負荷)

解決方法

可変周波数@軽負荷

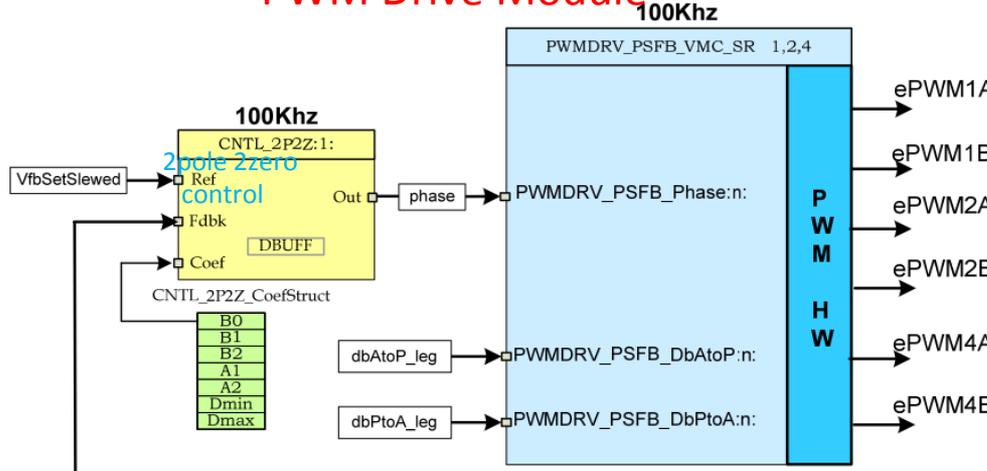
Phase Shift Full Bridge DC/DC Circuit

PSFB DC/DC回路部分

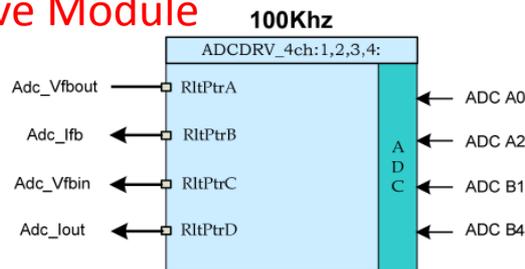
VMC: Voltage Mode Control

PSFB(Phase Shift Full bridge)DC/DC ボードのシステムブロック図、
元々のスイッチング周波数は100kHzで固定されている

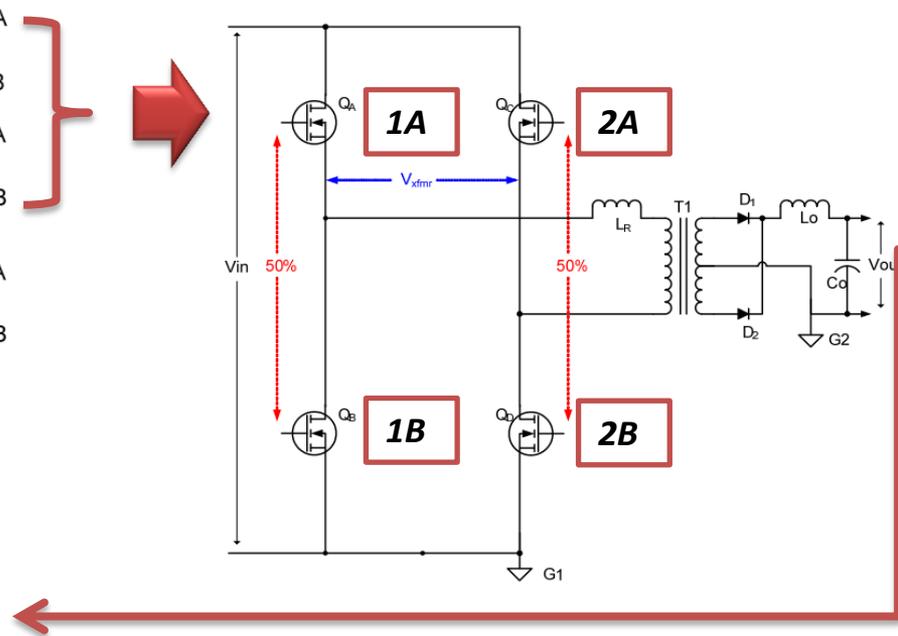
PWM Drive Module



ADC Drive Module



ePWM1A → 1A ePWM1B → 1B
ePWM2A → 2A ePWM2B → 2B



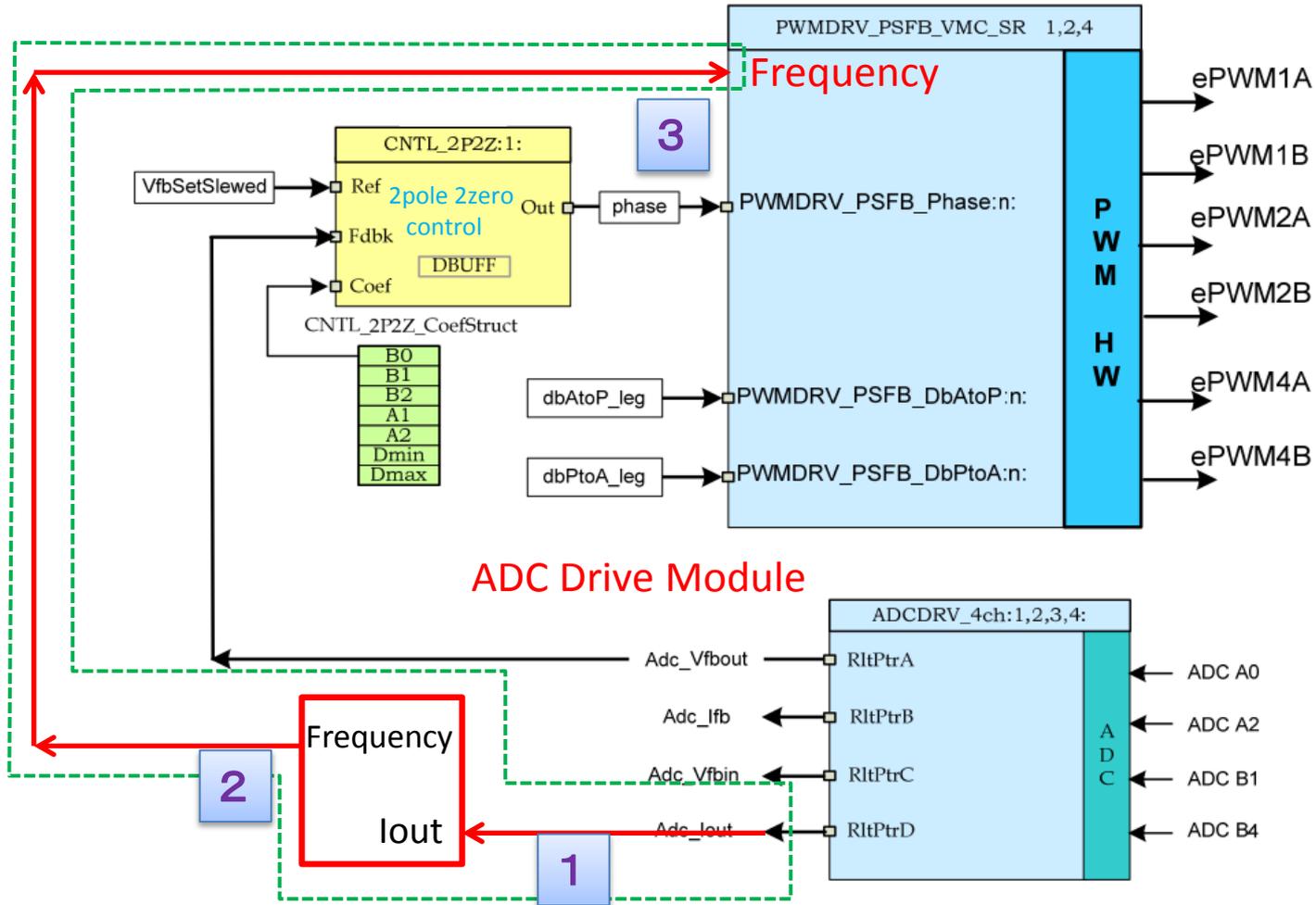
feedback loop

The system is controlled by one voltage feedback loop.

PSFB DC/DC回路部分

VMC Control Flow

PWM Drive Module

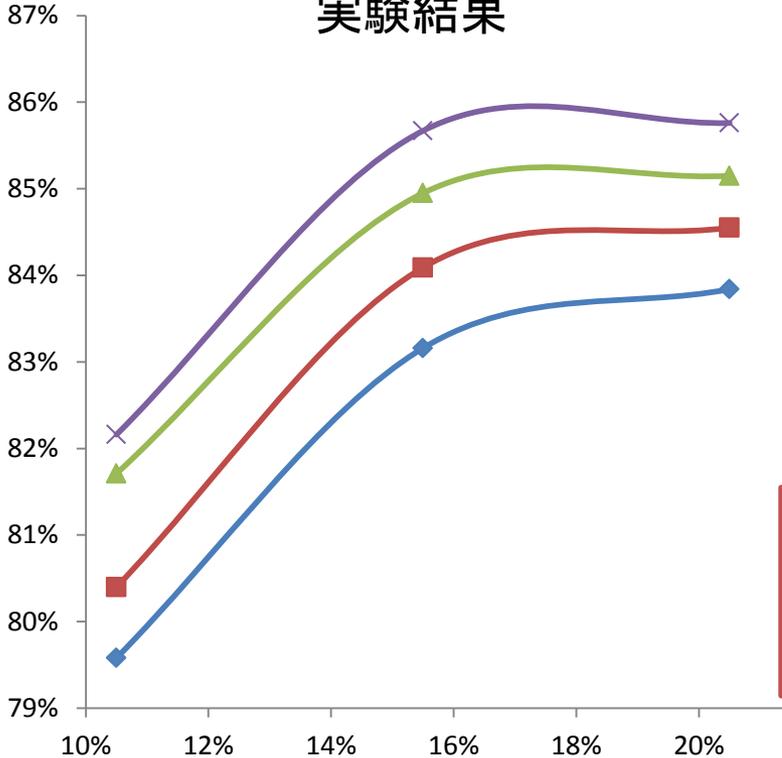


赤い部分が本実験のプログラム追加部分

PSFB DC/DC回路部分

PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@10%~20%負荷)
異なるPWM周波数におけるDC/DC回路効率

効率



100kHz

90kHz

80kHz

70kHz

~~最適~~

- **軽負荷**: スイッチング周波数を70kHzに変更する。
- **50%負荷重負荷**: スイッチング周波数を100kHzに戻す。

プログラムで実現!

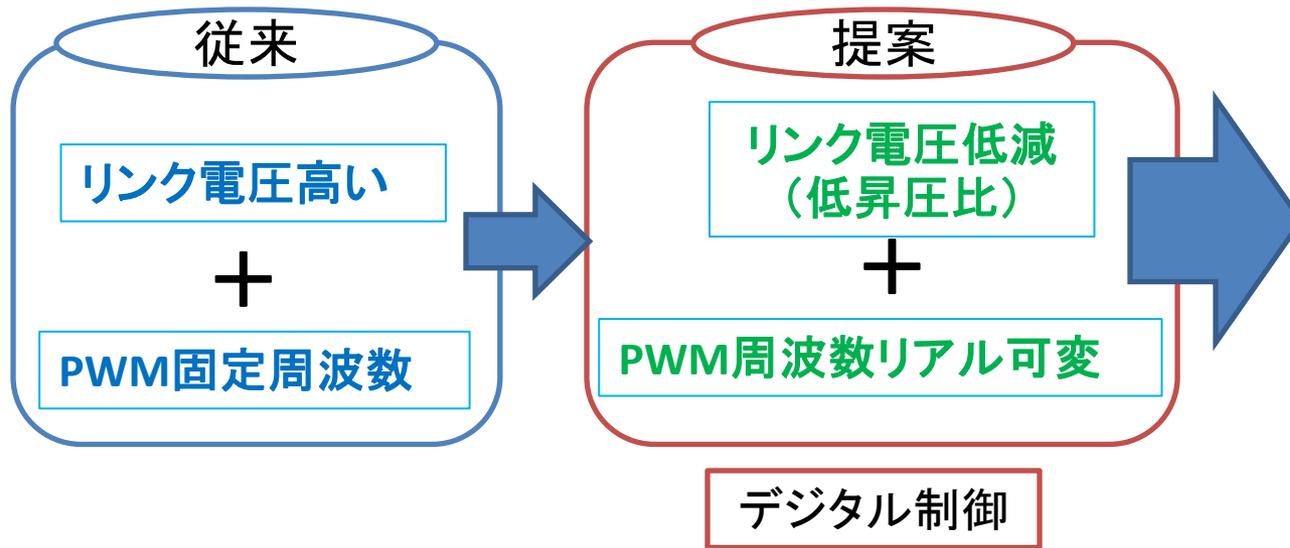
10%~20% Load Rate

OUTLINE

- 研究背景・目的
- 研究方法
- BLPFC AC/DC変換回路部の検討
 - リンク電圧最適可変(@ 50% 負荷)
 - PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@ 5%~20% 負荷)
- PSFB DC/DC変換回路部の検討
 - PWM(スイッチング周波数)の最適可変(@10%~20% 負荷)
- **まとめ**

まとめ

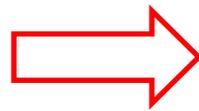
現段階の成果



- AC/DCリンク電圧可変: **効率5%↑@50% 負荷**
- AC/DC PWM周波数可変: **効率6%~10%↑@5%~20% 負荷**
- DC/DC PWM周波数可変: **効率3%↑@10%~20% 負荷**

最終目標

電源回路 (AC/DC+DC/DC)



% of Rated Load	10%	20%	50%	100%
TITANIUM	90%	94%	96%	91%

問題点

AC/DCボードとDC/DCボードを繋がって、全体的な効率の向上を検討する。

Q & A

● Q: 回路トポロジーの改良だけではダメだといっているが、回路トポロジーの改良だけだとどれくらい効率向上できるのか。

A: 回路トポロジとはトランジスタや抵抗等の素子のつながり、高いスペックが要求されているので、実現はとても難しいです。

● Q: 出力電圧はリン電圧と呼んでいるけど、なぜですか？

A: サーバ電源はAC/DC部分とDC/DC部分構成されています。AC/DC部分の出力電圧はDC/DC部分の入力なので、リンク電圧と呼ばれています。