

## DC/DC コンバータの回路方式

(読んでほしい人：パワエレ初心者)

2016/4/1 舞鶴高専 平地克也

平地研究室技術メモではDC/DC コンバータのいろんな回路方式を説明していますが、順不同で各種の回路方式を取り上げているので、多数の回路方式の全体像が見えにくいと思います。本技術メモではパワエレ初心者のために各種回路方式を整理しました。DC/DC コンバータ回路方式の全体像の理解にご利用下さい。

### チョップ回路

チョップ回路はスイッチ素子で電圧を切り刻んでいるように見えることからその名前がつけられたようです (chop : 切り刻む、chopper : 切り刻むもの)。(世間ではチョッパーと言えはる人気漫画のキャラクターを意味するようですが、それとは多分無関係です)。チョップ回路がどの範囲の回路を含むのか明確な定義はありませんが、おおむね非絶縁型のDC/DC コンバータがチョップ回路と呼ばれています。

降圧チョップ (図1) [1]、昇圧チョップ (図2) [2]、昇降圧チョップ (図3) [3]の3種類は大変よく使用されている基本的なチョップ回路です。普通に降圧したい時、昇圧したい時、降圧も昇圧もしたい時はそれぞれ図1、図2、図3を使います。SEPIC コンバータ (図4) [4]、ZETA コンバータ (図5) [5]、チョークコンバータ (図6) も良く知られたチョップ回路です。それぞれユニークな特徴を持っており、その長所を發揮できる独自の用途に使用されます。

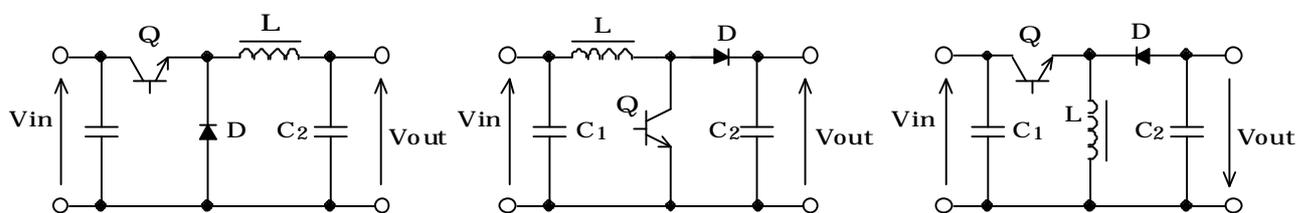


図1 降圧チョップ

図2 昇圧チョップ

図3 昇降圧チョップ

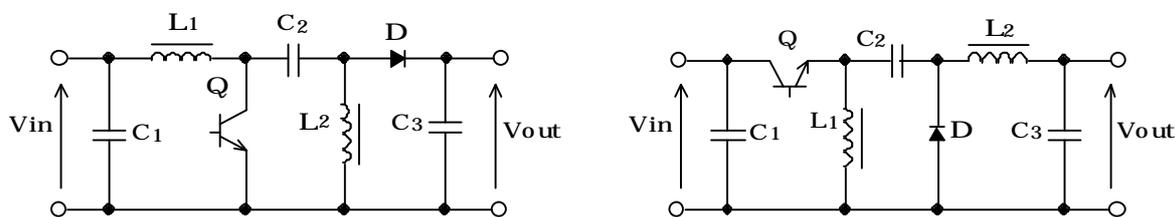


図4 SEPIC (セピック) コンバータ

図5 ZETA (ゼータ) コンバータ

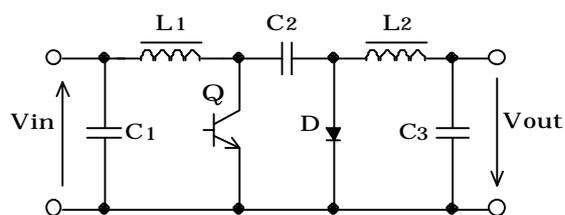


図6 Cuk (チョーク) コンバータ

以上は良く知られたチョップ回路ですが、チョップ回路はほとんどあらゆる種類の電気製品・電気システムに使用されるので、それぞれの電気製品・電気システムの要求に応じて非常に沢山の種類の回路方式が考案されています。例えば図7は降圧チョップ、昇圧チョップ、昇降圧チョップの全ての動作を実現できる多機能なチョップ回路です[6,7]。図8は高い昇圧比に適する昇圧チョップです。低い電池電圧を高い電圧に昇圧して連系インバータに電力供給するために研究されました[8]。これら沢山の種類のチョップ回路はいろんな文献にバラバラに掲載されています。全てを網羅した一覧表のようなものはありません。したがって希望する特性のチョップ回路を探すには地道に文献調査する必要があります。

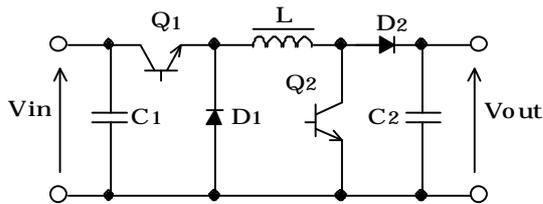


図7 多機能チョップ

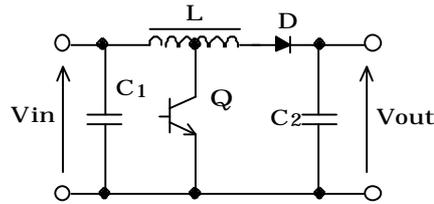


図8 高昇圧比に適する昇圧チョップ

### 絶縁型 DC/DC コンバータ

< 降圧チョップに変圧器を挿入 >

絶縁型 DC/DC コンバータはチョップ回路に変圧器を挿入して入出力を電氣的に絶縁したものと考えられます[9]。例えば降圧チョップ(図1)のトランジスタ Q とダイオード D の間に変圧器を挿入すると図9となります。このままでは変圧器が飽和してしまうので  $n_3$ 、 $D_1$  のリセット回路などを挿入すると 1 石フォワード方式(図10)となります。2 石フォワード方式(図11)は 1 石フォワード方式と同じ原理で動作しますが、1 石フォワード方式より大容量化が可能です。

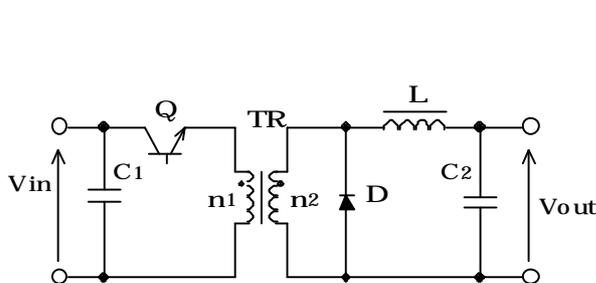


図9 降圧チョップ+変圧器

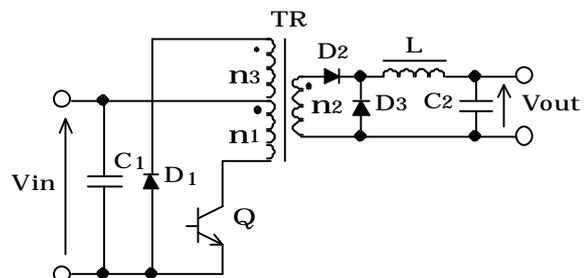


図10 1石フォワード方式

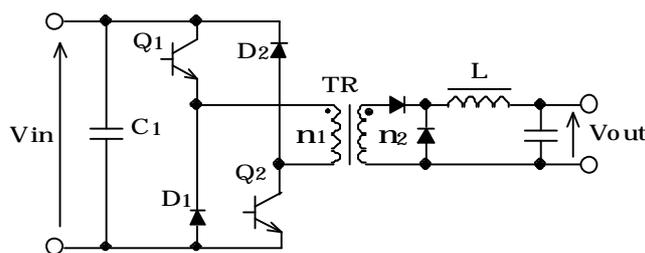


図11 2石フォワード方式

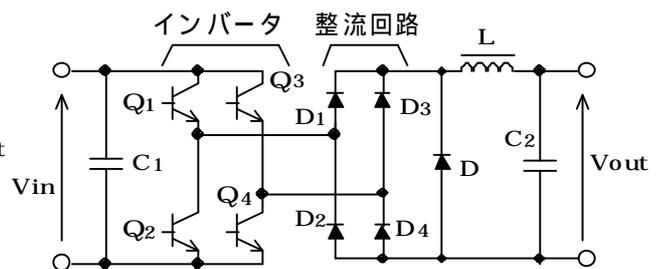


図12 インバータ+整流回路で置き換え

また、降圧チョッパ(図1)のトランジスタ Q をインバータ+整流器に置き換えると図12となります。この回路のインバータと整流回路の間に変圧器を挿入し、重複している D を削除するとフルブリッジ型 DC/DC コンバータ(図13)となります<sup>[10]</sup>。この回路の4つのトランジスタのうち2つをコンデンサで置き換えるとハーフブリッジ型(図14)となります。ハーフブリッジ型はフルブリッジ型と比較してトランジスタの電流が2倍になりますが偏磁しにくいという長所があります<sup>[11]</sup>。

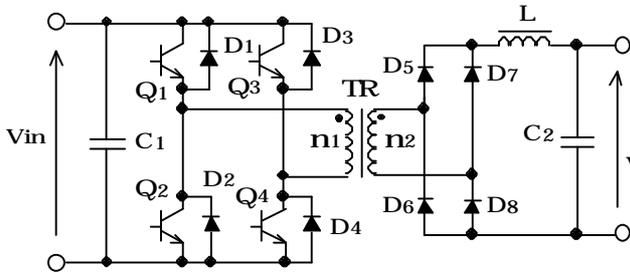


図13 フルブリッジ方式

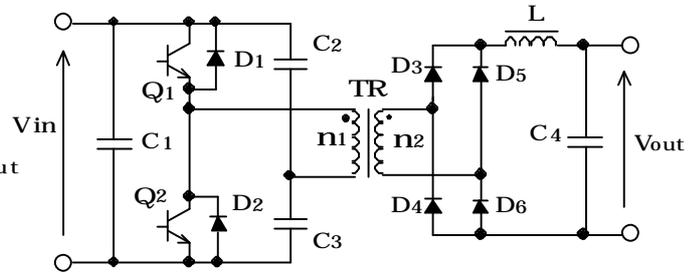


図14 ハーフブリッジ方式

図15はプッシュプル方式<sup>[12]</sup>。2つのトランジスタ Q1 と Q2 が交互に ON/OFF して変圧器の巻線を押したり引いたりしているように見えるのでこの名前が付いています。フルブリッジ方式と比較して回路は簡単ですが、Q1Q2の印加電圧は2倍になります。よって、入力が24Vや48Vなどの低電圧の時によく使用されます。

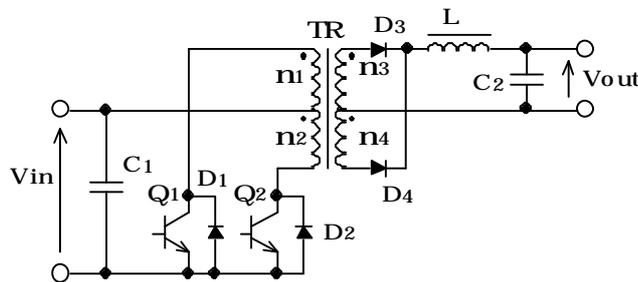


図15 プッシュプル方式

< 整流回路 >

図13のフルブリッジ方式の2次側整流回路はD5D6D7D8で構成される全波整流となっておりますが、両波整流に置き換えると図16、倍電流整流<sup>[13]</sup>に置き換えると図17となります。ハーフブリッジ回路(図14)、プッシュプル回路(図15)も同様に置き換えることができます。出力電圧の高低により3つのうちのいずれかを選びます。出力電圧が高い順に全波、両波、倍電流となります。

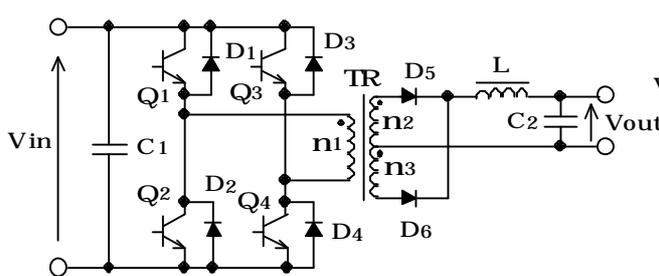


図16 両波整流型フルブリッジ方式

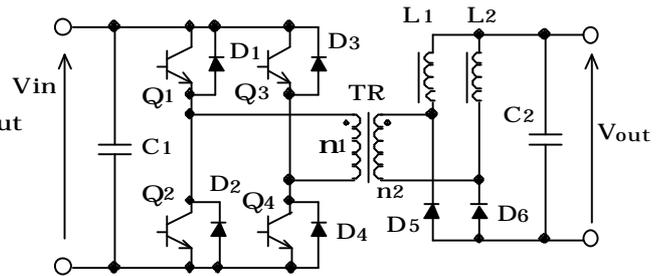


図17 倍電流整流型フルブリッジ方式

< 電流型 DC/DC コンバータ >

図 1 0 ~ 図 1 7 は全て降圧チョッパに変圧器を挿入した回路と考えられますが、このような回路方式を電圧型 DC/DC コンバータと言います。一方、昇圧チョッパに変圧器を挿入した回路を電流型 DC/DC コンバータと言います[14]。降圧チョッパ(図 1)のトランジスタ Q をインバータ+整流回路に置き換えると図 1 2 となりましたが、同様に昇圧チョッパ(図 2)のトランジスタ Q をインバータ+整流回路に置き換えると図 1 8 となります。図 1 8 のインバータの後段にトランス TR を挿入し、重複している D を削除すると図 1 9 となり電流形フルブリッジ方式と言います。電圧型の場合と同様にハーフブリッジ方式(図 2 0)、プッシュプル方式(図 2 1) [15]も存在します。さらに電流型フォワード方式(図 2 2)もあります。図 2 2 は実は平地研究室で考案した回路です[16]。何かの役に立つだろうと思っているのですが、今の所実用化例はありません。

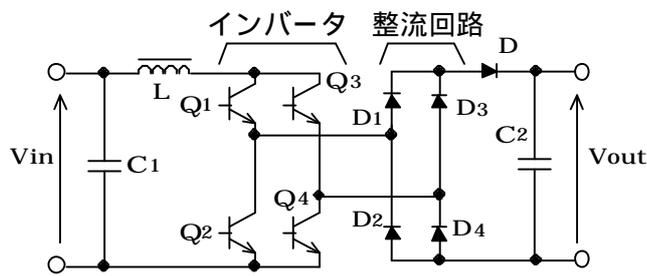


図 1 8 昇圧チョッパの Q を置き換え

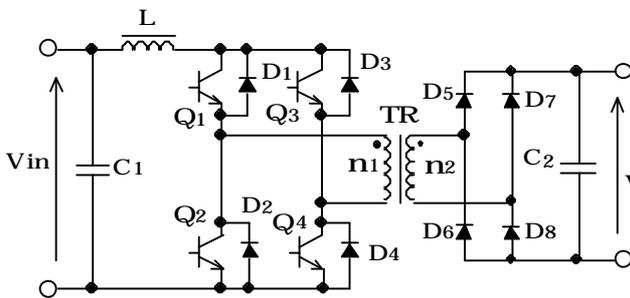


図 1 9 電流型フルブリッジ方式

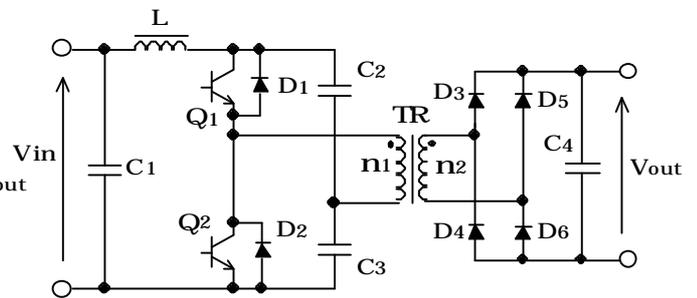


図 2 0 電流型ハーフブリッジ方式

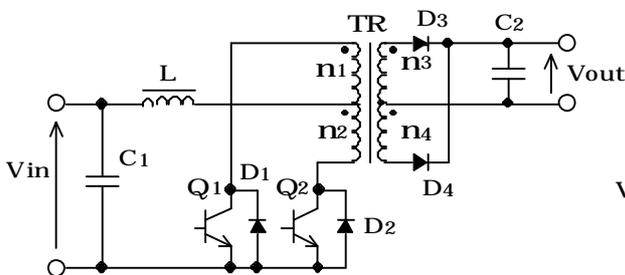


図 2 1 電流型プッシュプル方式

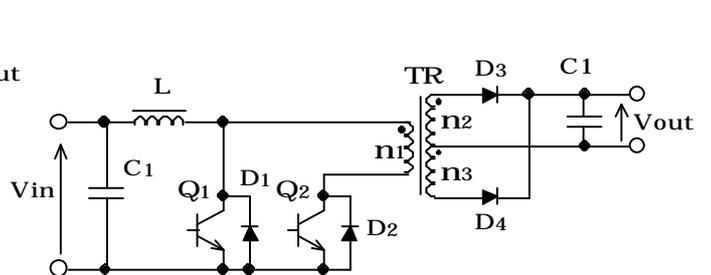


図 2 2 電流型フォワード方式

電流形 DC/DC コンバータは昇圧チョッパ(図 2)から生まれたので入力部には必ず L があります。L は電流源として動作するので電流を入力してトランジスタで電流の経路を切り替えて動作してい

ると考えられることから電流型と呼ばれています。一方電圧型 DC/DC コンバータは降圧チョッパ(図 1)から生まれたので入力部には L はなく、入力電圧  $V_{in}$  を直接トランジスタで ON/OFF しているので電圧型と呼ばれています。このように、電圧型、電流型はそれぞれ降圧チョッパ、昇圧チョッパから生まれた DC/DC コンバータなのでその特性も降圧チョッパ、昇圧チョッパを引き継いでいます。表 1 に両者の比較表を示します[14]。

表 1 電圧型 DC/DC コンバータと電流型 DC/DC コンバータの比較

	電圧型	電流型
元になるチョッパ回路	降圧チョッパ	昇圧チョッパ
電源	電圧源	電流源 (電圧源 + リアクトル)
入力電流	断続波形 (方形波)	連続波形 (リップルを持つ直流)
出力電圧	$V_{in} a$ に比例 ( $a$ は通流率 )	$V_{in} \frac{1}{1-a}$ に比例
回路例	フォワード方式 フルブリッジ方式 プッシュプル方式	フォワード方式 フルブリッジ方式 プッシュプル方式
用途	ほとんどの電気製品で使用	一部の電気製品で使用

#### < 電圧型、電流型以外の絶縁型 DC/DC コンバータ >

チョッパ回路に変圧器を挿入した回路が絶縁型 DC/DC コンバータであり、降圧チョッパに変圧器を挿入した回路が電圧型、昇圧チョッパに変圧器を挿入した回路が電流型です。降圧チョッパ・昇圧チョッパ以外にも変圧器を挿入して絶縁型 DC/DC コンバータを作ることができます。

図 2 3 は昇降圧チョッパ (図 3) のリアクトル L を変圧器の励磁インダクタンスで代用することにより変圧器 TR を挿入した回路です。フライバックトランス方式と言い、小容量の電源装置に広く使用されています。図 2 4 は SEPIC コンバータのリアクトルを変圧器 TR の励磁インダクタンスで代用しています[17]。同じ方法で ZETA コンバータに変圧器を挿入することもできます[5]。図 2 5 はチュークコンバータ (図 6) のコンデンサ  $C_2$  を 2 分割してその間に変圧器 TR を挿入した絶縁型チュークコンバータです。

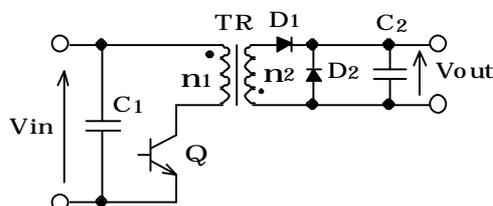


図 2 3 フライバックトランス方式

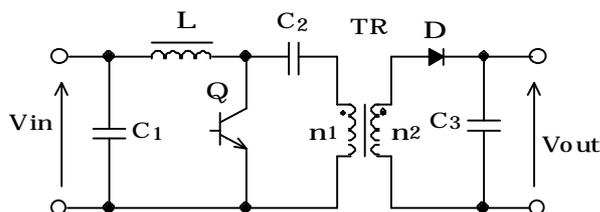


図 2 4 絶縁型 SEPIC コンバータ

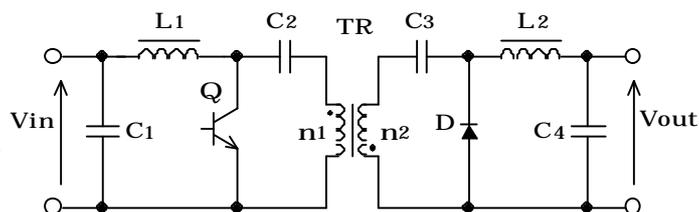


図 2 5 絶縁型チュークコンバータ

## まとめ

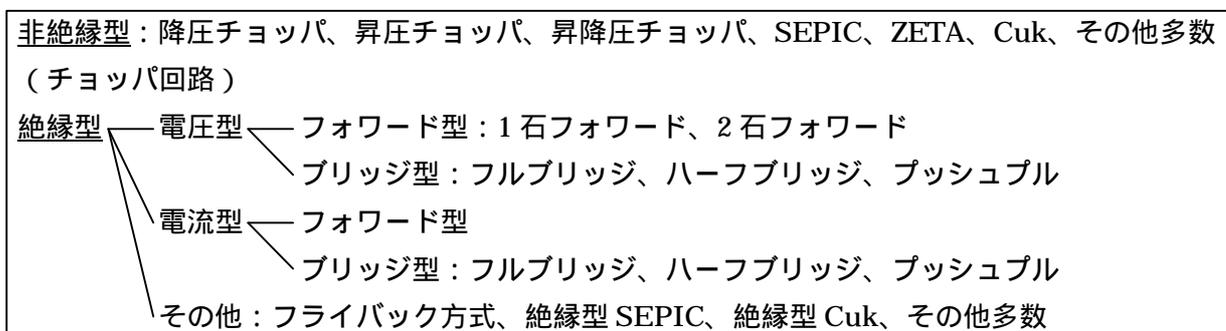
以上説明した回路方式をまとめると表2となります。DC/DC コンバータは変圧器で入出力が絶縁された絶縁型と変圧器のない非絶縁型に大きく分けられます。非絶縁型はチョップ回路とも言われます。非絶縁型には大変良く使われている降圧チョップ、昇圧チョップ、昇降圧チョップの3種類があり、良く知られたSEPIC コンバータ、ZETA コンバータ、チュークコンバータがあり、さらにその他多数の回路方式があります。

絶縁型には降圧チョップに変圧器を挿入した電圧型と昇圧チョップに変圧器を挿入した電流型があり、さらに、昇降圧チョップにトランスを挿入したフライバック方式やSEPIC、Cuk など様々なチョップ回路に変圧器を挿入した多数の方式があります。また、電圧型と電流型にはフォワード型とブリッジ型があり、ブリッジ型にはフルブリッジ方式、ハーフブリッジ方式、プッシュプル方式があります。

なお、今回はソフトスイッチング方式は考慮せず、ハードスイッチング方式のみ検討しました。ソフトスイッチング方式はハードスイッチング方式をベースとして制御方法を変更したり、共振回路を付加したり、補助回路を追加したりしたものが多いのですが、その分類と整理はまた別途技術メモで取り上げたいと思います。今回は双方向 DC/DC コンバータも取り上げませんでした。これもまた別途技術メモで検討したいと思います。

なお、本技術メモの回路図ではスイッチ素子は全てバイポーラトランジスタで統一しましたが、実用的にはほとんどの場合 FET または IGBT が使われます。

表2 DC/DC コンバータの分類



## 参考文献

- [1] 平地研究室技術メモ No.20060918、「チョップ回路の考え方」
- [2] 平地研究室技術メモ No.20080214、「昇圧チョップはなぜ「昇圧」できるのか？」
- [3] 平地研究室技術メモ No.20080117、「昇降圧チョップ回路の電圧、電流波形」
- [4] 平地研究室技術メモ No.20111229、「SEPIC コンバータ」
- [5] 平地研究室技術メモ No.20130531、「Zeta コンバータの基本特性」
- [6] 平地研究室技術メモ No.20120831、「多機能チョップ回路の御紹介」
- [7] 高見親法、平地克也、三島智和、「降圧チョップ/昇圧チョップ縦続接続方式の全動作モードの検討」、パワーエレクトロニクス学会誌、Vol.37, pp.89-96, (2012)
- [8] 平地克也、山中雅雄、梶山勝哉、磯兼誠司、「小規模 LL システムに適する 2 象限チョップの回路方式」、パワーエレクトロニクス研究会論文誌、Vol.27, pp.152-159, (2001)

- [9] 平地研究室技術メモ No.2011/5/16、「DC/DC コンバータとは」
- [10] 平地研究室技術メモ No.20110728、「位相シフト方式フルブリッジ型 DC/DC コンバータの基本」
- [11] 平地研究室技術メモ No.2013/2/4、「ハーフブリッジ形 DC/DC コンバータの動作原理と偏磁抑制メカニズム」
- [12] 平地研究室技術メモ No.2011/2/28、「電圧型プッシュプル方式 DC/DC コンバータの励磁電流について」
- [13] 平地研究室技術メモ No.20090531、「倍電流整流回路を用いた DC/DC コンバータ」
- [14] 平地研究室技術メモ No.20100228、「電流型 DC/DC コンバータについて」
- [15] 平地研究室技術メモ No.20101227、「電流型プッシュプル方式 DC/DC コンバータ」
- [16] 吉富大祐、平地克也、「電流型のフォワード型 DC / DC コンバータの提案」、電気学会半導体電力変換研究会資料、SPC10-003, pp.17-22, (2010)
- [17] 平地研究室技術メモ No.20120130、「絶縁型 SEPIC コンバータ」

以上