

## Web 利用パワーエレクトロニクス教育補助教材 iPES

正 員 Uwe DROFENIK\* (スイス連邦工科大学・チューリッヒ)

正 員 西田 保幸\*\* (日本大学工学部)

Web-Based Power Electronics Education Tool “iPES” (www.ipes.ethz.ch) Developed at the ETH Zurich

Uwe DROFENIK\*, Member (Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETHZ), Switzerland)

Yasuyuki NISHIDA\*\*, Member (College of Engineering, Nihon Univ., JAPAN)

In this paper the basic ideas and advantages of interactive animation for lecturing will be discussed and the e-learning system iPES (<http://www.ipes.ethz.ch>) developed at the ETH Zurich based on Java applets will be introduced. The programming of Java applets for interactive animation will be described in a basic form. Applications of iPES in the course of the development of power electronic systems in the industry will be treated and an outlook on the continuation of the iPES project with new developments like embedding the Java applets in PowerPoint slides will be given.

キーワード：Web 利用教育, JAVA, E-Learning, アニメーション, 相互通信(教育), パワーエレクトロニクス, 熱設計

Keywords：Web-Based Education, JAVA, E-Learning, Animation, Interactive, Power Electronics, Thermal Design

### 1. まえがき

本論文では、スイス連邦工科大学・チューリッヒで開発・運用されているパワーエレクトロニクス (PE) 教育用ソフト (iPES) について述べる。この PE 教育用ツール/ソフトウェアは JAVA アプレットと HTML を使って作成されており、コンバータ回路の構成や動作を理解するための PE コースの他に PE に関連する電界・磁界に関するものや熱解析に関するものも含まれている (第 2 章参照)。この iPES は “<http://www.ipes.ethz.ch>” にアップロードされており、(商用目的を除いて) 誰でも無料で利用できる。また、インターネット接続が無い環境でも利用可能な様に、iPES 全体 (約 1.5MB) を無料でダウンロード可能である。

PE の教育 (学習) では、パラメータの変更により生ずるシステムのありとあらゆる動作やコンバータ回路の動作モードの推移を学生に示す (修得する) 事が必要となる。従来は、多数毎の静止画を示すなどの手段によっていたが、iPES では波形図中にセットされている “time-marker” をユーザが所望の瞬時にスライドさせる事によってその瞬時の回路状態等を動画で表示する。また、回路パラメータもユーザにより変更可能であり、その変更が主回路図等で即座に反映される **Interactive 性**を持っている。iPES を利用する事で学生は、効果的学習を「教室で指導を受けながら」でも「独習環境」でも行う事が可能となる。

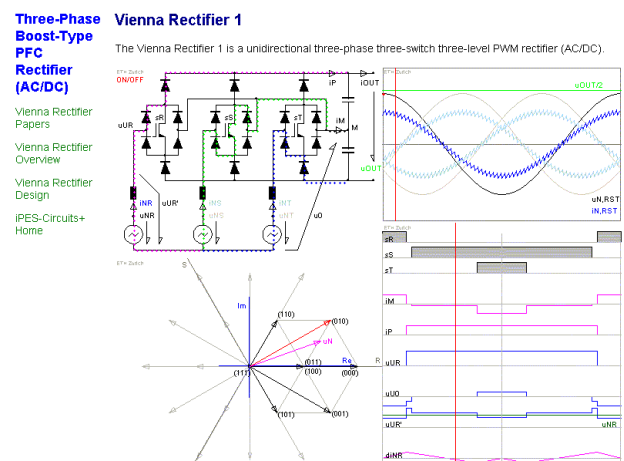


図 1 . IPES Web ページにある教育モジュール “iPES-Circuits+” に含まれている Vienna Rectifier のアプレット (電流流路 (左上の主回路図中), スペースベクトル表示 (左下図), 動作波形 (商用電源周期分 (右上図) およびスイッチング周期分 (右下図) の双方) が表示されており、これらの図が協調しながら学習を促す。)

Fig. 1. Vienna Rectifier-applet of educational module “iPES-Circuits+.” (On the iPES-webpage containing topology with current-path animation, space vector representation, time-behavior within mains period and time-behavior within a switching interval. All pictures and diagrams are dynamically coupled.)

## 2. “iPES” の概要 / 全容

**2.1 教育用モジュール** iPES はいくつかの“教育用モジュール (Education Modules)”で構成されている。第1のモジュール“iPES-Circuit”は多言語化されている(英語版, ドイツ語版, 日本語版, 韓国語版, 中国語版, スペイン語版, フランス語版)。他の Modules は現在英語版のみであるが、追って多言語に翻訳される。

“iPES-Circuit”は、「DC-DC コンバータ」, 「ダイオード / サイリスタ整流器」, 「インバータ」, 「空間ベクトル変調 / 信号処理基礎」の各アプレットで構成されている。第2の Module “iPES-Circuit+”は、3相 PWM コンバータや3相マトリックスコンバータといったより複雑で現時点で利用されているものや開発段階にあるコンバータ類に関するアプレットで構成されている。第3の Module “iPES-Thermal”は、コンバータの熱設計等で重要となるコンポーネントの温度分布を視覚化するアプレットで構成されており、今後はこの Module の充実に注力する計画である。第4の Module “iPES-EMFields”は、PE に於ける磁気部品の基礎と寸法設計に関する教育用に開発したものであり、関連する物理現象や電磁界に関する内容に力を入れている。

### 2.2 iPES の開発の歴史

表 1 . iPES の開発歴史

Table 1. Short History of iPES

1997	PE 教育用として電流流路表示を発想
2000/08	JAVA プログラミングを開始 (回路の数値シミュレーションと簡単なアニメーション)
2000/10	動作波形と電流流路アニメーション付きの8つのPE回路を開発
2001/04	授業での利用を考慮して上記のアプレットを再設計
2001/07	オンライン化
2001/09	IEEE IAS-2001 にて発表
2002/01	Web の再設計 (30 以上のアプレットをオンライン化, オフライン用のダウンロード版を設置)
Today	延べ 10,000 以上のダウンロードを記録 約 300 件 / 日のサイト訪問を記録 7 カ国語への翻訳を完了 世界の大学・企業で活用され、ユーザ数増加。

### 2.3 JAVA プログラミングと PE 教育

**(1) なにが対話式アニメーション教育プログラムに必要か?** アプレットの開発者は、「開発したアプレットを実際の教育の場で使ってみる事」と「受講者や他の利用者からのフィードバックを受ける事」が肝要である。また、アプレットの内容に対するある程度の知識も必要である。数値解析の能力も、アプレットを開発する上での基本として、必要である。

一般に、プログラマが PE を学習してアプレットを開発するより PE エンジニアがプログラミングを学習してアプレットを開発する方が効率的な様である。

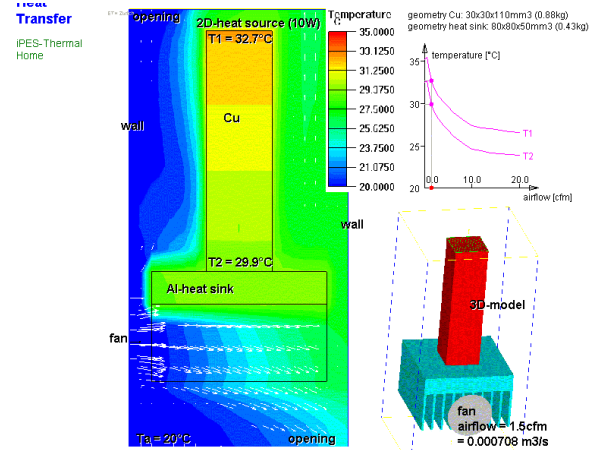


図 2 . 熱解析学習用対話式アプレット “iPES-Thermal”

(ICEPAK を利用した 3 次元数値解析 CFD (computational fluid dynamics) を使い、ファン強制空冷による冷却の状態が視覚的に捕らえる事ができる。右上の「温度 - 風速」図中の赤点をマウスで移動させる事によってファン速度を変更できる。)

**Fig. 2. New interactive applet of educational module “iPES-Thermal”** (Based on a numerical three-dimensional CFD (computational fluid dynamics) thermal simulation performed with the software ICEPAK. The applet shows how a fan is cooling an electronics structure via thermal convection (air flow). The fan speed can be manipulated by the user with the mouse by dragging the red point in the airflow/temperature diagram (right-hand side, top).

**(2) 多言語化の利点** iPES では多言語化を推進しているが(図3参照 - 日本語版の例) 次の利点がある。

- ・ほとんどの学生が母国語での学習を欲する。
- ・翻訳者が母国でのプロジェクト推進役となる。

### iPES-Circuits アニメーション・対話式パワーエレクトロニクスコース

English  
German  
Korean  
Chinese  
Spanish  
French  
Home

**DC-DC コンバータの基本形**  
 1 石式降圧形 DC-DC コンバータ - (1)  
 1 石式降圧形 DC-DC コンバータ - (2)  
 1 石式降圧形 DC-DC コンバータ - (3)  
 1 石式昇圧形 DC-DC コンバータ  
 1 石式昇降圧形 DC-DC コンバータ  
 1 石式降圧形 DC-DC コンバータ: 一定デューティサイクルでの始動  
 1 石式昇圧形 DC-DC コンバータ: 一定デューティサイクルでの始動  
 1 石式昇降圧形 DC-DC コンバータ: 一定デューティサイクルでの始動  
 Boost Converter Inductor Current Ripple

**ダイオード整流回路**  
 単相 (純) ブリッジダイオード整流回路と抵抗負荷  
 交流インダクタ付き単相 (純) ブリッジダイオード整流回路と直流電圧源負荷  
 チョークインプット形単相 (純) ブリッジダイオード整流回路と直流電圧源負荷  
 キャパシタインプット形単相 (純) ブリッジダイオード整流回路と抵抗負荷

**サイリスタ整流器 I**  
 単相半波サイリスタ整流回路と誘導性負荷  
 単相 (純) ブリッジサイリスタ整流回路と誘導性負荷  
 3 相 (純) ブリッジサイリスタ整流回路と誘導性負荷  
 2 相半波サイリスタ整流回路と誘導性負荷  
 3 相半波サイリスタ整流回路と誘導性負荷

**サイリスタ整流器 II**  
 相間リクトルによる二重運転  
 転流 / 整流器の等価回路  
 転流失敗  
 サイリスタ整流器の環流ダイオードの効果  
 転流重なり角とその変化要因 (理論解析)

**直流機駆動**  
 制御直流電圧源による直流機駆動  
 4 象限動作直流機

図 3 . “iPES-Circuit” の日本語版の例

**Fig.3: Japanese version of the educational module “iPES-Circuits”.**

・国際共同の簡単かつ効果的手段である。

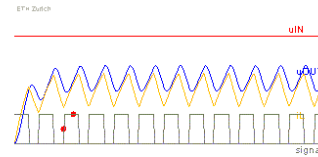
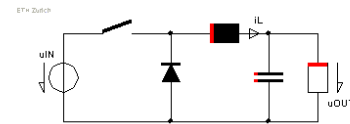
(3)なぜ JAVA か? JAVA-Code は OS の最上部にインストールされる JRE (Java Runtime-Environment) で翻訳される。この JRE は無料で入手可能<sup>(6)</sup>であり一般の OS にインストール可能である。JAVA はこの JRE という特別のプログラム層で動作するために OS に対して独立しており、ウイルスを活動させないように、また、ユーザーの許可なしにファイルを変更しないように監視するため、極めて安全である。大多数のユーザにとって JAVA は容易に利用可能であり、従ってプログラム集を配布するのに好都合である。これが iPES が短期間に広まった主な理由である。

JAVA は Web ブラウザにプリインストールされるようになったし、インストールが必要であっても無料の JAVA プラグイン (www.java.sun.com) を使って一度だけインストールすれば済む。JAVA アプレットで構成されている Web ページにアクセスすると JAVA コードが自動的にダウンロードされ、JRE が JAVA プログラムを開始しアプレットが障害をもたらさないように監視する。JAVA 開発ツールは無料で入手できる。

(4)学生のプログラミング授業での PE 用 JAVA アプレットのプログラミング スイス連邦工科大学・チューリッヒ (ETH-Zurich) の学生にとっての最初の PE に関する授業は 3 年次前期に設置されているが、これに先んじて、2 年次前期～後期に開講されているプログラミング授業で (PE に対する興味を抱いてもらうために) PE の紹介を兼ねた JAVA プログラミングの授業を行っている。その内容は下記の通りである。

- ・ JAVA プログラミングの基本的能力が必要である。学生は C++ と JAVA を勉強しているが、プログラミングの経験はあまり無い。
- ・ 各学生には個別にプログラミングを行わせているが、相談し合う事は制限していない。従って、学生全員が数値シミュレーション、画像プログラム、マウスを介しての対話機能、パワーデバイスの過電流/加熱による破壊のアニメーション効果、共振回路のチューニングなどのプログラミングを学ぶ。
- ・ この授業は午後×9回で行われるが、午後1回につき一つのアプレットを完成させる。最後に図4に示す Buck-Converter (降圧チョッパ) の始動に関するアプレットを製作する。
- ・ 学習の遅い学生は教員が助け、一方、学習が速い学生はテキストや図の罫線といった追加の機能を学ばせつつ、学生全員が各々のアプレットを時間内に完成させる。
- ・ 「Buck-Converter (降圧チョッパ) の始動」は PE に関する知識が無くても、電気工学の基礎知識だけで理解できる。
- ・ JAVA プログラミングと PE の理解を促すために、最終的には短いテキスト文を盛り込ませる。

DC/DC-Converter Basic Topologies  
iPES-Home



(1) Drag with the mouse the red part of the symbols for the inductor, the capacitor resistor in the power circuit applied to change their values accordingly.  
(2) Drag the red dots in the time-behavior applet to change duty cycle and switch the red vertical line (time-behavior of the input voltage) to change the value of the

図4 . DC-DC 降圧コンバータアプレット (“iPES-Circuits” Module (赤色の点や線をマウスでドラッグする事によってデューティサイクル, 入力電圧, インダクタンス, キャパシタンス, 負荷抵抗が調整可能)

Fig.4: DC/DC buck converter applet of educational module “iPES-Circuits.” (Various parameters (duty cycle, switching frequency, DC input voltage, inductance, capacitance, load resistance) can be manipulated by the user by dragging all red marked symbols with the mouse.)

### 3 . 今後の開発計画

3.1 パワーポイントへの JAVA の埋め込み パワーポイントに JAVA アプレットを埋め込んで、両機能をシームレスに利用する事ができる。さらに、望みのテキスト文を JAVA アプレット上に書き込むことも可能である。この二つの機能を利用すれば効果的プレゼンテーションが可能となる。例えば、iPES とパワーポイントを組み合わせることでユーザ独自のプレゼンテーションツールを作ることが可能である。

3.2 アプレットへの書き込み 技術的ディスカッションでの図・表の利用は現在でも最も効果的手段である。マウスを使って iPES アプレット上に図・表や文字を書き込む事は可能であり、パワーポイントと黒板の併用は最早不要である。図5にプロトタイプを示す。

3.3 スクリーン上でのアプレットの寸法調整や移動 スクリーン上のアプレットの寸法を変更したり (ズーム機能を含む) 移動させたりする事も可能である。アプレット内の小さいテキストや細部を拡大する事が必要な場合もあり、この機能は有用である。

3.4 教科書 近い将来、PE の教科書を執筆する予定で、その内容に沿って iPES の内容を改訂する予定である。この教科書には改訂 iPES とパワーポイントを盛り込んだ付属の CD-ROM を添付する予定であり、上で述べた新しい機能も盛り込む予定である。

### 4 . iPES の産業応用分野での活用

iPES は教育用ツールとして開発されたものであるが、一部のアプレットは産業応用分野での利用に耐える機能をも

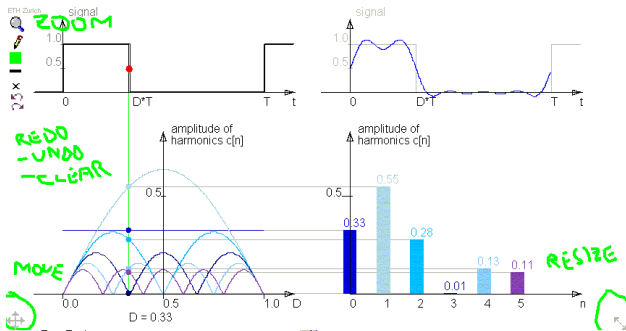


図5. パワーポイントに組み入れた教育用アプレットのプロトタイプ(マウスを使ってアプレットにカラーで文字等を直接書き込んだり、アプレットを移動したり、サイズ変更・ズームができる。)

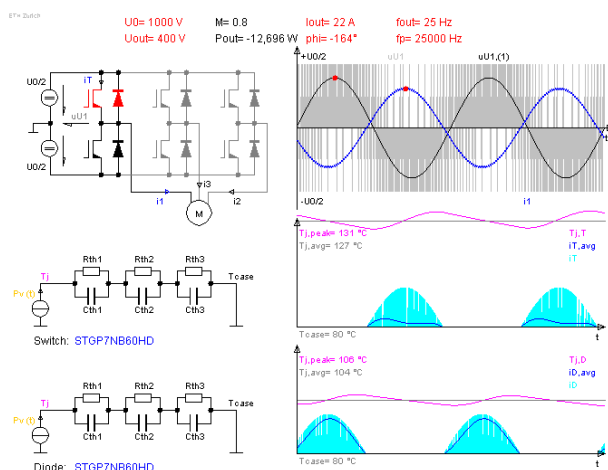
Fig.5: Prototype of educational applet. (With the ability to be embedded into a PowerPoint presentation. As additional feature, one can draw directly onto the applet with the mouse in different colors. Move-, resizing- and zoom-capability is also available.)

っている。図6に一例として、CLE (Component-Loss Estimator) アプレットを示す。

赤色で示されたトランジスターやダイオードをマウスでクリックするとこれらデバイスの型式を選ぶページが開く。デバイスを選ぶと、直ちにアプレットがデバイスメーカーの製品データベースにアクセスして同デバイスの接合温度の計算に必要な全ての情報を得、接合温度の時間変化(波形)を示す。

ユーザは負荷(モータ)の電圧と電流の大きさや位相を変更する事ができ(右上の電圧・電流波形上の赤点をマウスでドラッグ)それによる接合温度の変化の様子を見て取れる。選んだデバイスで接合温度が過剰となった場合、代わりのデバイスを製品データベースから選択可能である。

#### Estimation of Component Losses



Everything in red color can be clicked (or dragged) with the mouse to input data.

図6. CLE (Component-Loss Estimator) アプレットのプロトタイプ(教育用版はiPESのWebでフリーで提供されている。)

Fig.6: Prototype of the Component-Loss Estimator applet. (The educational free version is available on the iPES-website.)

CLE アプレットの開発上の難しさは、ユーザが十分と感ずる応答速度でアニメーションを動作させる適切な数値シミュレーションアルゴリズムを得る点にある。実際の接合温度を実際のデバイスデータから計算せねばならないから、シミュレーションは高精度(温度誤差10%以内)で、スイッチングロスを含み、温度・電圧・電流に関する非線形性が加味されており、温度モデルが正確でなければならない。

このCLPは、温度解析・設計に関する知識や経験が十分でない中小企業において、複雑な温度解析やシミュレーションなしにモータドライブ用インバータなどの設計が出来るようにする事を目的として開発している。非商用目的・教育用でデバイスのデータベースへのアクセス機能を省略したCLPを近い将来にiPESのWebで無料公開する予定である。

## 5. あとがき

スイス連邦工科大学・チューリッヒ(ETH Zurich)で開発されているWeb利用パワーエレクトロニクス教育補助教材“iPES”について述べた。iPESは、Webにアクセスしながらオンラインで利用する事もプログラム全体をダウンロードしてオフラインで利用することも可能であり、JAVAアプレットで構成されており対話式でアニメーションを取り入れているため学習者/ユーザは効率的な学習が行える。さらに、パワーポイント上で展開しながら図上にマーキングしたり文を書き込んだりする機能や図をズームしたり移動したりする機能も付加され、より自由度が高くより効果的な利用が可能となった。現代PEの教科書を近く刊行する予定であるが、同教科書に沿ったiPESの改訂を行う予定である。

## 文 献

- [1] Drofenik, U., and Kolar, J.W.: *Survey of Modern Approaches of Education in Power Electronics*. Proceedings of the 17th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, Dallas (Texas), USA, March 10 - 14, Vol. 2, pp. 749 - 755 (2002)
- [2] Drofenik, U., and Kolar, J.W.: *Interactive Power Electronics Seminar (iPES) - A Web-Based Introductory Power Electronics Course Employing Java-Applets*. Proceedings of the 33rd IEEE Power Electronics Specialists Conference, Cairns, Australia, June 23 - 27, Vol. 2, pp. 443 - 448 (2002).
- [3] Drofenik, U., and Kolar, J.W.: *Teaching Basics of Inductive Power Components Using Interactive Java Applets Performing FEM-Based On-Line Calculation of the Magnetic Flux Distribution*. Proceedings of the 10th International Power Electronics and Motion Control Conference, Dubrovnik, Croatia, Sept. 9 - 11, CD-ROM, ISBN: 953-184-047-4 (2002).
- [4] Drofenik, U., and Kolar, J.W.: *Teaching Thermal Design of Power Electronic Systems with Web-Based Interactive Educational Software*. Proceedings of the 18th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, Miami Beach (Florida), USA, February 9 - 13, Vol. 2, pp. 1029 - 1037 (2003).
- [5] [www.ipes.ethz.ch](http://www.ipes.ethz.ch)
- [6] [www.java.sun.com](http://www.java.sun.com)
- [7] 西田: 「対話型アニメーション式のパワエレ教育・独習ツール“iPES”」, 雑誌 OHM, 2003年11月号, p. 84
- [8] 西田, Drofenik U. and Kolar J. W.: 「対話型アニメーション式パワーエレクトロニクス教育/学習ツール“iPES”」, H14年電学D部門大会, pp. 409-410 (No. 88)