

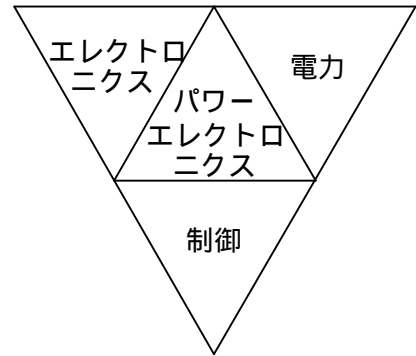
パワーエレクトロニクスの最も有名な論文の紹介

(読んでほしい人：パワエレ初心者)

2008/8/18 舞鶴高専 平地克也

パワーエレクトロニクスの最も有名な論文

パワーエレクトロニクスの教科書の最初のページには必ず右のような図が掲載されており、パワーエレクトロニクスはエレクトロニクスと電力と制御の3つの基本技術をベースとして成立した学問であることが説明されています。そしてこの図は William E. Newell 博士が 1973 年に発表した論文から引用したものであることが記載されています。よって、この論文はパワーエレクトロニクスを勉強する全ての学生や技術者に知られているパワーエレクトロニクスの最も有名な論文と言えるでしょう。



しかしながら、この Newell 博士の論文を実際に読んだことのある人はあまり居ないのではないのでしょうか？ この論文は上記の三角形の図があまりにも有名になってしまい、パワーエレクトロニクスに定義を与えた論文として人々に記憶されています。しかし実はこの論文はパワーエレクトロニクスに定義を与えるために書かれた論文ではないのです。1973 年の当時、まだ 1 つの学問分野として認知されていなかったパワーエレクトロニクスを一人前の学問として世の中に出現させることが Newell 博士の目的だったのです。

パワーエレクトロニクスを出現させた論文

この論文の題名は “Power Electronics-Emerging from Limbo” です。“Limbo” は日本人にはなじみの薄い言葉ですが、キリスト教の用語で「死後の世界ではあるが、天国でも地獄でもない所」です。キリスト教の洗礼を受ける前に死んでしまった子供たちの魂が天国に行けずにさまよっている所です。Newell 博士は当時のパワーエレクトロニクスを Limbo の中でさまよっている魂にたとえているのです。この論文は PESC 1973 の Keynote Talk (基調講演) として発表されたものです。Newell 博士は PESC 1973 に参加したパワーエレクトロニクスの技術者達に向かってパワーエレクトロニクスが Limbo の中をさまよっている現状を説明し、そして Limbo から光のあたる世界に出現 (Emerging) させるために団結することを呼びかけたのです。

この論文を読むと、当時のパワーエレクトロニクスの状況がいかにひどいものであったか良く分かります。そして今日我々はパワーエレクトロニクスを学ぶ上ですばらしく恵まれた環境にあることが分かります。それは 35 年前の Newell 博士の呼びかけを 1 つのきっかけとしてパワーエレクトロニクスの技術者達が団結して努力した結果もたらされたものと言えるでしょう。パワーエレクトロニクスは今まさに Newell 博士の呼びかけ通り Limbo からの出現が完了しているのです。この論文は「パワーエレクトロニクスを定義した論文」というより「パワーエレクトロニクスを出現させた論文」と言うべきかもしれません。次頁以下にこの論文の概要を紹介します。

William E. Newell 著

“Power Electronics-Emerging from Limbo”

「パワーエレクトロニクス、リンボーから出現する」

の概要

2008年8月 舞鶴高専 平地克也

William E. Newell, “Power Electronics-Emerging from Limbo”, Power Electronics Specialists Conference (PESC), Pasadena Calif., October 25, 1973, Keynote Talk

アブストラクト - 電気工学には3つの主要な分野、即ち「エレクトロニクス」と「電力」および「制御」がある。パワーエレクトロニクスはこの3つの分野の境界領域に存在する技術である。この技術は近年急速に重要性が増加しているが、人々はまだそのことに気付いていない。そしてこの技術の専門家達は伝統的に自分の担当分野に閉じこもる傾向があり、同じ技術を用いている他の分野の専門家達と互いに協力したりコミュニケーションをとったりすることがない。この論文はパワーエレクトロニクスのこのような状況に終止符を打つものであり、この技術の専門家達の協力を促し、そしてパワーエレクトロニクスを一つの新しい学問として出現させるものである。

・パワーエレクトロニクスはリンボーの中をさまよっている技術である

電気工学のカバーする広い領域はおおむね3つの主要な分野に分けることができる。即ち、エレクトロニクス、電力、制御、の3つである。エレクトロニクスという言葉を使う場合、それは多くの場合信号処理のような電子回路の技術を意味している。また、電力という言葉を使う場合は、回転機や変圧器や送電線などが思い浮かぶ。エレクトロニクスや電力や制御の技術者はほとんどが、それらの境界領域の技術であるパワーエレクトロニクスの重要性と将来性に無関心のようなのである。実は、この技術の中では大きな量の電力が流れており、そしてそれは電子部品で制御されているのであり、彼らが活躍すべき領域なのである。さらに残念なことに、パワーエレクトロニクスに対して積極的に取り組んでいる一部の技術者達でさえ、団結してこの世間の無関心状態を改善しようと努力していない。

従来は電力制御の中心デバイスは水銀アーク装置だった。しかし今日では半導体素子であるサイリスタがその中心となっている。パワーエレクトロニクスはFig.1で示されるようにエレクトロニクスと電力と制御の3つの分野の境界領域に存在する技術である。しかし、単に3つの分野が結合されただけではない。これら3つの分野を特長づける視点の独特の融合が必要とされる。

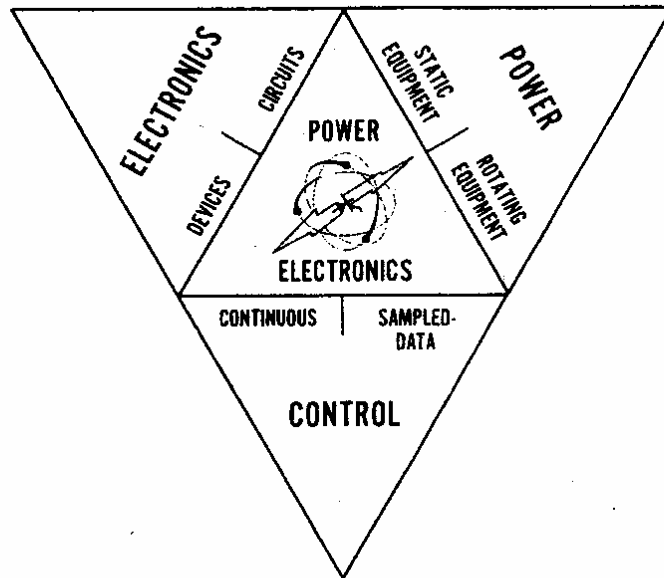


Fig. 1. Power electronics: interstitial to all major disciplines of electrical engineering.

パワーエレクトロニクスでは電力効率の向上が大変重要である。電力効率は電力の技術者にはなじみ深いものであるが、エレクトロニクスの技術者には無縁のものである。電力効率向上のために、制御素子はデジタル的に ON/OFF を繰り返すモードで使用される。これはデジタル回路の技術者にはなじみ深いものであるが、ほとんどの電力の技術者にはなじみのないものである。しかしながら、スイッチ素子を動作させている信号の幅が連続的に可変できることはアナログ回路の技術者には了解できるものであるが、デジタル回路の技術者にとっては気持ち悪いものであろう。スイッチング動作する電力用半導体素子の動作速度と過渡的に発生する大きな電力損失に対して電力の技術者は恐れを抱くだろう。エレクトロニクスの技術者も瞬時に発生する大きな電力損失にはとまどうだろう。応答の安定性、速度、精度の解析は制御の技術者にはなじみ深いものである。しかし、電力スイッチング回路の動的な振る舞いに対してこれらの解析を施すことは制御の技術者にとってかなりの難題である。

パワーエレクトロニクスの専門家達は自分の担当分野に閉じこもる傾向がある。その結果パワーエレクトロニクスの理論的体系化が阻害されている。製鋼所で使用される大容量の電源装置の技術者は日々設計、据え付け、修理などに追われており、他の分野の電源装置について考える余裕はない。しかし例えば人工衛星の DC/DC コンバータも実は同じ基本技術を応用しているのである。私はこれらの現実的心情を持った技術者を非難したりはしない。彼らは実際に大きな技術的進歩を成し遂げてきたのである。しかし彼らは理論的または数学的な一般化や、獲得した貴重な技術を他の分野への応用のために発展させることにほとんど興味がない。そして、このような理論的考察に興味を持っているはずの学者達もパワーエレクトロニクスの理論化には興味を示さなかった。

パワーエレクトロニクスにおけるこのような分裂状態はもう一つ大きな障害をもたらしている。パワーエレクトロニクスが一つの独立した技術として認識されていないため、この技術に関する文献が

世界中の無数の出版物の中にばらまかれてしまい、収集して整理することが不可能となってしまう。多くの読者を持ち、パワーエレクトロニクスに関する論文発表の場としてふさわしい専門雑誌は1つも存在しない。“Electrical and Electronics Abstracts” と“Computer and Control Abstracts” は共に有名な雑誌であるが、その分類体系にパワーエレクトロニクスが主要なカテゴリとして含まれていない。よって、これらの雑誌はパワーエレクトロニクスの文献をフォローするのに極めて不便である。パワーエレクトロニクスの重要な文献を見のがさないためにはこれら 2 つの雑誌の膨大な数のアブストラクトを毎月丹念に調査しなければならない。“Electronic News” や “Electronics Magazine” のような新しい雑誌でさえ、電力の分野を軽んじており、パワーエレクトロニクスに関する設計技術や主要な新しい装置や新製品の特集記事を掲載しようとしなない。

パワーエレクトロニクスの多様性を詳しく表した分類方法を Fig.2 に示す。これは電気工学の3つの主要分野（エレクトロニクス、

電力、制御）に基づいた分類方法を提案している。そして、パワーエレクトロニクスの技術が専攻する分野とそれらが3分野と重複する分野の双方を詳細に示している。私の知る限りではこのような分類方法はこれまでに提案されたことはない。しかし、私の経験から考えて、この表はパワーエレクトロニクスの論文の分類方法として大変有用であると思われる。また、パワーエレクトロニクスはマイナーな専門分野であると言う広く行き渡った考えから脱却して、パワーエレクトロニクスは電気工学の中の重要な分野であるというパワーエレクトロニクスに対する見通しを教えるために大変有用であると思われる。

IEEE の中でパワーエレクトロニクスに関する最大の出版活動は“Industry Applications Transactions” で行われている。また、IAS (Industry Applications Society) では毎年の大会でパワーエレクトロニクス関係の論文が多

1. Systems and Control
 - 1.00 General Systems and Applications Topics
 - 1.10 Control Theory and Stability Analysis
 - 1.20 Sensing and Gating Signal Generation
 - 1.30 Motor Drives and Machines
 - 1.31 DC Drives, Motors, and Exciters
 - 1.32 AC Drives and Machines
 - 1.33 Brushless Machines
 - 1.40 Heating and Welding Equipment
 - 1.50 HVDC and Other Electric Utility Equipment
 - 1.60 Large Power Supplies
 - 1.70 Low-Power and/or High-Frequency Equipment
 - 1.80 Miscellaneous Applications
2. Solid-State Power Devices
 - 2.00 General Device Topics
 - 2.01 Materials and Fabrication Processes
 - 2.02 Power Diodes
 - 2.03 Power Transistors
 - 2.04 Turn-On Devices
 - 2.05 Turn-Off Devices
 - 2.10 Special Topics in Device Design and Protection
 - 2.11 High-Voltage Design and Overvoltage Protection
 - 2.12 High-Current Design, On-State Voltage, and Cooling
 - 2.13 Surge and Pulse Currents, Transient Thermal Analysis, and Fuse Coordination
 - 2.14 dv/dt Considerations, Cathode Shunts, and Snubber Design
 - 2.15 Turn-On and di/dt Considerations
 - 2.16 Turn-Off and Recovery Considerations
 - 2.17 Series/Parallel Array Equalization
 - 2.18 Second Breakdown
3. Power Circuits and Components
 - 3.00 General Circuit Topics
 - 3.10 Power Components
 - 3.20 Harmonics and Filters
 - 3.30 Naturally Commutated Circuits
 - 3.31 AC/DC Converters
 - 3.32 AC Switches and Regulators
 - 3.33 Cycloconverters
 - 3.34 Voregulators
 - 3.35 Pulse Circuits
 - 3.40 Self-Commutated Circuits and Techniques for Forced Commutation
 - 3.41 DC Switches and Regulators
 - 3.42 Inverters
 - 3.43 Frequency and Power Factor Changers; Active Filters.

Fig. 2. Power electronics classification scheme.

数発表されており、さらに、パワーエレクトロニクス関係の論文発表を主な目的とした会議が時々開催されている。“Aerospace and Electronic System Society”は電力変換に関する専門家会議を毎年開催している。“The Power Engineering Society”や“Electron Devices Group”や“Industrial Electronics and Control Instrumentation Group”などもまたパワーエレクトロニクスの分野に関する論文を発行している。このように、IEEE 中の様々な部門やグループがパワーエレクトロニクスに関する論文を扱っているが、それぞれが勝手に発行しているだけであり、互いに影響をおよぼしあったり整合性をとったりしたことはない。

このように、パワーエレクトロニクスの現状は全く不十分なものである。しかしながら、私は今回の会議（PESC 1973）に大きな期待を抱いている。この会議を転機として我々パワーエレクトロニクスの技術者は互いに意志疎通し合い、協力してパワーエレクトロニクスを発展させていくようになるに違いない。

アメリカのほとんどの大学はパワーエレクトロニクスを重要な技術として認識していない。その結果パワーエレクトロニクスをリンボーの中から救い出すことができていない。パワーエレクトロニクスを重要な技術として認識しているわずかの大学でさえ、それぞれが担当する分野だけに閉じこもっており、パワーエレクトロニクスを一つの学問分野として統合的に把握しようとはしていない。

良い教科書が整流器、インバータ、サイクロコンバータ、電源装置、直流モータ駆動、そして高電圧 AC/DC コンバータの分野で現れた。しかしながら、これらの専門的応用分野の間にベースになる共通の技術（すなわちパワーエレクトロニクス）が存在することを示している教科書はほとんど存在しない。授業と自習の双方において練習問題は必須であるが、練習問題を備えている教科書はほとんど存在しない。半導体メーカーは、ハンドブックの形でサイリスタについて役に立つ応用に関する情報を沢山提供している。また、サイリスタに関する古典的な立派な本が存在している。しかしながら、サイリスタを用いた回路の設計理論とサイリスタの最新動向を解説した書物は発行されていない。パワートランジスタの最新情報を十分に説明した書物は存在していない。

パワーエレクトロニクスという技術分野がいまだに実体化されていないことはまさに驚くべきことではないでしょうか？ 願わくば、皆さんは、パワーエレクトロニクスがまだリンボーの中に居ることをはっきりと認識していただきたい。しかし、このことはじつはあまり大きな問題ではないかもしれない。パワーエレクトロニクスの現状を嘆くよりも今後進むべき方向を考えることの方が重要である。よって、私は次の章で今後の進むべき方向を提案したい。

．パワーエレクトロニクスの専門家達は直面する多数の課題を克服するために団結しなければならない

リンボーの中をさまよっているパワーエレクトロニクスではあるが、それでもこれまでに沢山の課題を克服してきた。そしてさらに困難な課題も克服しつつある。その例を以下に紹介する。シリコン

ダイオードはセレンウム整流器に取って替わった。サイリスタはサイラトロンとイグナイトロンにほとんど取って代わり、また、半導体を用いたコンバータはモータージェネレータに取って代わった。これら全てのことは、うまくなしとげられた。理論的、分析的な洗練がほとんどない技術であるにもかかわらず。さらに、パワーエレクトロニクスがこれまで議論してきたような分断状態であるにもかかわらず。しかしながら、パワーエレクトロニクスの最前線では克服すべき困難な技術課題が山積している。いまの状態ではとても克服できそうにない。

半導体の電力容量が増加し、また半導体アレイの電力分担回路が進歩し、整流装置は容量と電圧の双方においてその実用的限界を拡大している。高周波誘導加熱用インバータはスイッチング速度と転流回路そして電力容量の実用的限界を広げている。パワーエレクトロニクスはマイクロ波の技術に似ている。そこでは技術的実用性の限界は常に半導体素子の特性で制限される。しかし、賢明な回路設計者はこれらの限界を最大限に伸ばしてきた。その他の技術的挑戦は沢山の応用製品に発揮されている。そこには技術的同等性や優秀さが発揮されている。しかし、製造価格が高いという問題が残されている。

これはパワーエレクトロニクスのみならずどの技術にも見られることであるが、ある分野でその技術が応用されても、その製品がある程度のシェアを獲得するまではなかなか商業ベースに乗らず、世間の関心を集めず、特定の研究者の興味の対象に留まる。ある程度のシェアとは例えば市場の 10% 程度である。しかし、ある分野でその技術が応用され、10%のシェアを獲得する所まで成長できれば、その後わずか数年で 90%程度のシェアを獲得する。よって、ある分野でパワーエレクトロニクスを使っている製品の割合は約 10%から約 90%まで急速に立ち上がる S 字曲線を描くことになる。その S 字曲線の形は充電器であろうがエレベータ駆動システムであろうがその他の分野であろうがほとんど同じである。それぞれの分野で異なるのは S 字曲線が急速に立ち上がる時期だけである。

それぞれの製品において、単なる研究室の興味の対称から企業の競争上の必要性までにいたる発展プロセスのコストは、他の関係する製品のために開発された技術の副産物に厳密に依存する。即ち、これまでの製品開発で蓄積された技術の量により新しい製品開発のコストが決まる。パワーエレクトロニクスがリンボーに留まっていることの 1つの悪影響はこのコストが高いレベルに留まっていることである。

今パワーエレクトロニクスが直面している技術的、経済的問題は、それぞれの応用分野が単独で解決する余裕がないほど難しいものになってきている。しかし、パワーエレクトロニクスは我々が問題を未解決状態に残しておくほど余裕のあるものではなくなるほど沢山の応用製品に広がっている。電力の使用の普及に伴い、新しい電気製品が多数開発されるようになった。電気製品では制御性、信頼性、メンテナンス性、電力効率、応答速度などが重要である。これらの性能を満足できるレベルに向上させるには半導体スイッチ素子の使用が必須となりつつある。ほとんどの電気製品において、パワーエレクトロニクスの技術をうまく利用しているか否かでその製品の優劣が決定されてしまうようになりつつある。200W のハンドドリルやミシンのような小容量の装置から 50MW のアーク炉のような非常に大きな容量の装置まで、大変多くの電気製品がパワーエレクトロニクスの恩恵を受けてい

る。ハンドドリルやミシンではモータの精密な速度制御をパワーエレクトロニクスに依存している。大容量のアーク炉では AC 電源の安定化にパワーエレクトロニクスの応用が必須である。さもなくば同じ電源系統に接続された照明装置のフリッカを抑制することができない。

我々は額を集めて相談し、なんとかして我々が直面している多数の技術課題を共通の言葉で定義しなければならない。理論に秀でた学者達が興味を持つような言葉で定義することができれば、多数の技術課題の克服が大きく進むであろう。また、技術課題を共有すれば、それを克服するためのコストを皆で分かち合うことができるであろう。電気製品の設計は理論に基づくよりもカット&トライを繰り返して経験と勘で行なわれることが多い。電力用半導体素子の破損の有無を決定する接合部温度という最も決定的なパラメータは実験的に測定することが難しい。我々は電力用半導体素子の接合部温度が許容値を超えないようにしっかりした解析的な知識に基いて設計しなければならない。しかし、その手法が確立されていないので経験的に定められた適当な安全係数を使って設計している。注文品の場合も、標準品の場合も、最適な信頼性と最小コストを実現できるような内容豊富な分析的設計技術はまだ開発されていない。

パワーエレクトロニクスにおいて解析技術がまだ未熟である現状は、AM ラジオの設計技術と比較することによりはっきりと認識することができる。今、設計手順書を作成することを目的として、AM ラジオを理解することを強く望んでいると仮定しよう。AM ラジオの理解のためのひとつの方法として、AM ラジオに特定の入力信号を加えたときの回路の微分方程式の数値計算を行うことが考えられる。それによって一点一点、1 サイクル毎の出力波形が時間の関数として解析できる。入力信号としては「あ」や「い」のような簡単な声か音楽の波形のようなものが使われるであろう。このようなプロセスを十分に多くの入力波形と回路定数に対して繰り返せば、設計者は AM ラジオの適切な設計手順を見いだすことができるだろう。

しかし我々はこのような複雑な入力信号の時間領域解析が AM ラジオの特性解析手段として不適切であることを良く知っている。それは我々は AM ラジオの解析手法として簡単かつより強力である周波数領域解析技術に精通しているからである。我々は変調理論を知っているので、キャリア周波数と適切な側波帯周波数の手法を用いて、入力信号の全ての種類を扱うことができる。線形回路網理論のおかげで我々は受信回路の応答を、周波数をパラメータとする単純な正弦波を入力信号として分析することができる。一方、声や音楽の複雑な信号はフーリエ解析により単純な正弦波の合成と考えられる。よって、複雑な信号に対しても単純な正弦波の重ね合わせとして正確な解析を行うことができる。実際には次のようなさらに良い解析手法がある。AM ラジオの特性解析のためには実際の信号波形を考えるより、ゲイン、位相差、バンド幅、折れ点周波数という抽象的な特徴を考えることが合理的である。

AM ラジオと同様に、デジタル電子回路の分野においても特性解析と設計のために便利な手法が開発されている。まず、回路の動作を実際の電圧や電流ではなく、抽象的な 0 と 1 を用いて表す便利な手法が発展した。そしてブール代数とカルノーマップという優れた解析手法が発明された。この発明がなかったならば、デジタル回路は AM ラジオを時間領域で解析することと同じくらい不可解だ

っただろう。

パワーエレクトロニクスはデジタルの世界と同じように、自分自身の特有の要求に適した強力で効率的で理論的な解析技術を強く必要としている。パワーエレクトロニクスの文献は、沢山のページで膨らんでいる。それには、正弦波や方形波で構成される理想的な波形を表す注意深く描かれた図が沢山掲載されている。これらの波形は風変わりて面白いアピールを持っているが、これらの情報密度はとても低く、そして AM ラジオの時間領域におけるアプローチと同じく、解析的な操作のためには不適切である。"calculus"と称している手法は上記の波形を用いる手法よりも同じ情報をより簡便に表記することができるかとされているが、あまり広まることはなかった。パワーエレクトロニクスでは電力用半導体素子を高周波でスイッチング動作をさせて使用する。このような使用方法では半導体素子の中の動的なスイッチング損失が支配的なファクターとなる。したがって、電子回路の解析技術として確立している「小信号技術」はパワーエレクトロニクスにおける電力用半導体を用いた回路の解析技術としては不適切である。低周波の分野でも従来技術をパワーエレクトロニクス応用製品の解析に適用することはできない。例えば、フィードバック制御系の精度、安定余裕、応答速度などを解析的に求める技術はすでに確立しているが、フィードバックループの中に電力のスイッチングを含む場合は従来技術では対応できない。また、周波数比率が整数でないサイクロコンバータにおいても従来技術は適用できない。通常のアナログ回路では微分方程式を数値解析することにより時間領域の解を求めることができる。しかし、回路の内部に半導体のスイッチング動作を含む場合はこの手法の適用が困難となる。それは回路が定常状態に達するまでに膨大な数のサイクルの計算処理が必要となってしまうからである。また、たとえ膨大なサイクルの数値解析を実行して定常状態の波形が計算されたとしても、動的な応答特性は解明できない。さらに、適切な電力用半導体素子を決定するためには最悪の過渡状態を考えねばならないが、そのためには素子の寄生要素や外部からのサージを考慮しなければならない。このような不確定な要素に対しては従来の解析手法では対応が困難である。「平均化技術」、「高調波無視」、「伝導行列」、「状態変数」、「サンプルデータモデリング」、「ラプラス変換」などほとんどすべての考えられる回路分析技術が複数の研究者によって試みられた。コンピュータシミュレーションはアナログ回路でもデジタル回路でも広く行われるようになった。パワーエレクトロニクスの分野ではアナログとデジタルを統合したシミュレーション技術が必要であるが、このような技術はまだ現れていない。パワーエレクトロニクスの分野の回路解析と同様に電力用半導体素子自身のコンピュータシミュレーションも大きな困難に直面している。キャリアのハイレベル注入、キャリアの3次元の流れ、過渡熱効果、この3つの要素の組み合わせは電力用半導体素子に関するコンピュータによる解析を難しくしている。

このようなパワーエレクトロニクスのコンピュータシミュレーションの分野で大きな成果を実現することができるのは現場の設計者ではなく優れた理論家である。学界がすばらしい成果を技術者達に与えることができるのは正にこのようなパワーエレクトロニクスの理論構築の分野である。この分野において学界が活躍すべきだが、残念ながら、それなら学界にそのための資金を提供しよう、ということにはならない。大学の上層部の人々はパワーエレクトロニクスを長年無視してきた。パワーエレクトロニクスに対して頑固な懐疑をもっていた。もし、彼らがパワーエレクトロニクスに研究資金を投入しようとするなら、長年無視してきたにもかかわらずパワーエレクトロニクスの進歩に貢献で

きると考えて長年抱いてきた懐疑を克服しなければならない。これはなかなか難しいことである。

一方、現時点においてパワーエレクトロニクスに対する熱心な研究者が少ないことはあまり問題ではないと思われる。パワーエレクトロニクスの応用製品は大きく広がりつつあるので、そのうち研究者は熱心にパワーエレクトロニクスを研究するようになるだろう。皆さんの努力により研究者達のパワーエレクトロニクスに対する興味を導入レベルまで向上させることができれば、大きな資金の供給が無くともパワーエレクトロニクスの理論研究が本格的にスタートするだろう。私のこのスピーチによりパワーエレクトロニクスに明るい未来への展望が開けることを望みます。そして皆さんが得た親しみによって、皆さんが一層大きな信頼感を以てパワーエレクトロニクスに関する研究提案書を書くことができるようになるであろうことを望みます。その時には、皆さんはパワーエレクトロニクスの研究に投資してくれる可能性のある人と意気投合することができるだろう。そして、実り多い交渉に入ることができるだろう。産業界と政府の双方において、パワーエレクトロニクスに対する興味が増加することは確実である。なぜなら、電力の利用がますます広がり、電力を効果的に制御することに対する要求は一層切実なものとなり続けているからだ。したがって、私は次の第3章を主張させていただきたい。

・パワーエレクトロニクスは1つの立派な学問分野として世の中に出現するだろう

私の意図は、パワーエレクトロニクスを1970年代の万能薬や楽隊車のように宣伝することではない。しかし私はパワーエレクトロニクスの将来性を特徴づける間違いのない傾向を発見できると信じている。以下、パワーエレクトロニクスの将来について6つの予言をさせていただきたい。

1) 電力用半導体素子を使った電力制御システムはますます普及し、モータジェネレータなどの電気機械の装置に取って替わり、これまで実用的ではなかった新しい応用に道を開くだろう。新製品の開発にあたり、効率、制御の度合い、信頼性、応答速度などの性能を満足できるレベルにするには半導体スイッチ素子の使用が不可欠となるであろう。

2) コンピュータによる回路解析と半導体素子のモデリング技術は発展し、現在の設計技術に取って替わるだろう。それは、標準品とカスタム品の双方において設計の最適化、信頼性の増加、コストの低減を可能にするだろう。次に示すような、現在の技術では適切な解析が困難な対立する項目に対して、統一された理論的なアプローチが可能となるだろう：アナログ対デジタル、時間対周波数、素子対回路、静的対動的。そして、パワーエレクトロニクスは確立された1つの学問分野となるだろう。

3) 大容量半導体素子の市場の大きな成長につれて、この分野での大規模な研究と開発は経済性が成立するようになるだろう。半導体内部の電荷の振舞いと熱の流れが総合的に理解されるようになり、革新的な電力用半導体技術が実現されるだろう。それは小信号半導体技術を特長づける急速な発展に酷似している。大容量トランジスタのようなターンオンのみならずターンオフもできる電力用半導体素子が広く普及するだろう。そしてサイリスタのようなすでに普及している素子は特性のばらつきが

小さくなるように製造され、直列/並列接続による容量アップがより簡単に実現できるようになるだろう。

4) 多くの種類の汎用スイッチングモジュールが開発され、いろんな製品に応用されるだろう。その結果、製品の流通が増え、そして個々のユニットの個別設計を排除することで信頼性を犠牲にすることなくコスト削減が可能となるだろう。制御用 IC が普及し、簡単な制御回路は IC またはハイブリッド回路の標準品で組み立てられるだろう。

5) 大学はパワーエレクトロニクスに取り組み始め、科目の開講、教科書の作成、研究の開始などを実現するだろう。全ての大学はパワーエレクトロニクスの全ての分野を担当する必要はない。それぞれの大学はパワーエレクトロニクスのそれぞれの特定の分野に精通するべきである。国家はいくつかのこのような大学を緊急に必要としている。

6) 最後に、この会議 (PESC 1973) で確認されたように、我々は今後は装置設計者と回路設計者の間、および異なる応用分野の専門家の間に、より多くのコミュニケーションと協力を作り上げることになるだろう。この会議は IEEE の中のいくつかの部門とグループによって運営されている。私の知る限り、パワーエレクトロニクスにおけるメンバーのニーズを提供するために、IEEE の中の部門やグループと一緒に働こうとしたことは初めてのことである。私は、この協力体制が成長を続けることに参加し、促進することを皆さん全員に呼びかけたい。

さらに、私は次のことを求めたい。今後、我々全員はパワーエレクトロニクスの分野を表すために同じ名前を使用することを。パワーエレクトロニクスという学問分野はこれまでいろんな名前と呼ばれて来た。例えば、産業エレクトロニクス、パワーコンディショニング、パワープロセッシング、というようなエキサイティングでなく、ありきたりの名前で。または整流器、モータ駆動、電源装置というような特定の最終製品の名称で。このようにいろんな名前と呼ばれることによりパワーエレクトロニクスという学問分野が有する一つの学問分野としての一般性が覆い隠されてきた。もしもこのパワーエレクトロニクスという名前が広く採用されれば、少なくとも企業の求人担当者は大学のどの研究室に求人に行けば良いかすぐに分かることになるだろう。さらに私は次のように考える。雇用市場で成長している部分が明白になるだろう。それらは現在使われている沢山の名前のために見逃されてきた。

パワーエレクトロニクスのリンボーからの出現は次の時に完了するだろう。大学教師、企業の研究者、学生などパワーエレクトロニクスの全ての階層の技術者が団結力と友情を誇ることができる時に。ここに、喜ばしく速やかな旅立ちを願う！