

第13回

でんぎの礎

—振り返れば未来が見える—



*One Step on Electro-Technology
- Look Back to the Future -*



一般社団法人 電気学会

The Institute of Electrical Engineers of Japan

でんきの礎

－振り返れば未来が見える－

電気学会では、創立120周年を迎えた平成20年に「でんきの礎」制度を創設して、社会の発展に貢献し歴史的に記念される“モノ”、“こと”、“人”、“場所”を顕彰してきました。その数は今回の第13回で、総計82件になります。

これまで顕彰された「でんきの礎」82件は、いずれも電気学術・技術の発展史において重要な成果を挙げ、まさに「礎」を築いた物件、史料、人物、場所などであり、社会や産業の発展に大きく寄与し、文化的にも顕著な貢献をしてきたものです。この「でんきの礎」を、過去の輝かしい歴史の記録を残し功績を称えるだけのものとするのではなく、まずは過去に立ち返り、先人の着眼点、努力、苦勞、業績を学ぶことにより、温故知新を体現し更に未来を展望する「礎」としたいと考えています。

電気工学は、人類・世界の共通の目的である「エネルギーと環境の課題を克服し、知的で文化的な生活を送ることができる持続可能な社会の実現」に向けての技術開発のために、これまで大きな役割を果たしてきました。今回、新たに顕彰された「でんきの礎」につきましても、電気工学の輝かしい発展の証であると同時に、明るい将来へと導く道標としてその行程を照らしていくものと確信しております。

令和2年3月

第13回顕彰委員会 委員長

日高邦彦

第13回 でんきの礎

令和2年3月
(顕彰名称50音順)

カテゴリー	顕彰名称	顕彰先
モノ こと	回生ブレーキ付き 電機子チョッパ制御車両 ～千代田線6000系車両の開発～	東京地下鉄株式会社 三菱電機株式会社 株式会社日立製作所
モノ 人	川原田政太郎とOYKモータ (自動同期引込形誘導同期電動機)	早稲田大学
モノ	大容量3レベル中性点クランプ インバータ	長岡技術科学大学 株式会社日立製作所 株式会社東芝 三菱電機株式会社 富士電機株式会社 東芝三菱電機産業システム株式会社
こと 人	中嶋章とスイッチング理論	日本電気株式会社
モノ	方向性電磁鋼板オリエントコア ハイビー	日本製鉄株式会社

顕彰先には記念品として
クリスタルトロフィー(手前)
もしくは青銅プレート(奥)
を授与しています



※第1回から第12回の「でんきの礎」は「でんきの礎」ホームページをご参照下さい

でんぎの礎

—振り返れば未来が見える—

かいせいぶれーきつ

回生ブレーキ付き

でんきしちよっぱせいぎょしゃりょう

電機子チョッパ制御車両

ちよだせん けいしゃりょう かいはつ

～千代田線6000系車両の開発～

モノ

こと

Armature Chopper Controlled Rolling Stock with Regenerative Brake
: Development of the Series 6000 Train on Chiyoda Line



①



②

回生ブレーキ付き電機子チョッパ制御車両は、1971年（昭和46年）に帝都高速度交通営団（現東京地下鉄株式会社）千代田線6000系車両により世界で初めて営業運転を開始しました。

従来、主電動機の世界速度制御は抵抗制御が主流でしたが、チョッパ制御では、サイリスタ等の半導体デバイスにより回路を高速にオン・オフさせて主電動機入力電圧の平均値を連続的に制御します。加速時には降圧チョッパ装置として主電動機入力電圧を調整し速度制御を行い、減速時には昇圧チョッパ装置として回生電力を電車線に戻します。

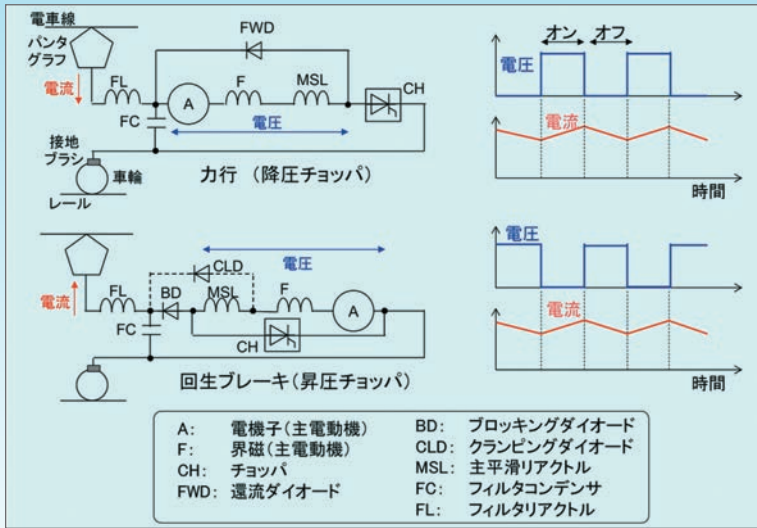
回生ブレーキ付き電機子チョッパ制御車両は、抵抗からの発熱がないため、地下鉄トンネル内の温度上昇を抑制できます。また、電力回生により省エネルギー化が図られます。回生ブレーキの導入にあたっては、高速域でブレーキ力が不足するため、空気ブレーキとの協調動作が重要であり、応答性向上のため電気指令式空気ブレーキが採用されたほか、回生ブレーキ動作中に他の車両の負荷変動により発生する過電圧を抑制する装置等の新技術を導入しました。また、チョッパ制御に伴う高調波電流による信号軌道回路や通信線路への誘導障害対策として、チョッパ装置の多重化や車上フィルタ装置が設けられました。

多くの技術に支えられ、千代田線6000系車両は実用化されました。ここで培われた技術は、その後の半導体電力変換技術の発展に寄与したといえます。

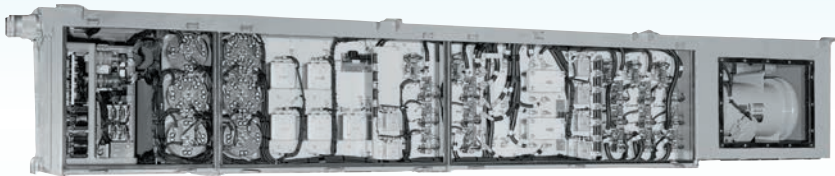
☆顕彰先 : 東京地下鉄株式会社, 三菱電機株式会社, 株式会社日立製作所

☆所在地 : 〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6 (東京地下鉄株式会社)

☆ホームページ : <https://www.tokyometro.jp>



③



④



⑤

車両形式:	6000系	ブレーキ:	電力回生ブレーキ(全界磁) 空気ブレーキ併用
電気方式:	直流1,500V 架空電車線	主電動機:	直流直巻 145kW
車両編成:	6M4T	チョップパ装置:	1500V, 1600A, 2400kW
車両性能:	1時間定格出力 3,480kW 最高速度 100km/h	主サイリスタ:	1200Vまたは1300V, 400A
主回路方式:	電機子チョップパ		
制御方式:	定周波平均値制御		

注:『チョップパ制御ハンドブック』電気学会(1976)より作成 ⑥

<写真提供: ①東京地下鉄株式会社, ②金子元昭氏, ④⑤株式会社日立製作所>

- ① 6000系1次量産車両
- ② 6000系1次試作車両
- ③ 電機子チョップパ制御の回路例と電圧・電流(イメージ)
- ④ 6000系2次試作車用チョップパ制御装置
- ⑤ サイリスタ(1300V, 400A)
- ⑥ 千代田線6000系車両の主な諸元

かわらだまさたろう おーわいけーもーた
川原田政太郎とOYKモータ
じどうどうき ひきこみがたゆうどうどうき でんどうき
(自動同期引込形誘導同期電動機)

Dr. Masataro Kawarada and OYK Motor
 (Induction Synchronous Motor)



①



②

1910年代、世界的にエネルギー源として電気の利用範囲が拡大され、日本でも大正期から昭和初期にかけて社会全般で電力利用が拡大しました。その当時、早稲田大学助教であった川原田政太郎（後に名誉教授）はOYKモータを発明し、川原田が以前勤務した小穴製作所から1921年（大正10年）にOYKモータが発売されました。“OYK”は小穴のO、川原田の恩師である山本忠興早稲田大学教授（当時、後に名誉教授）のY、そして川原田のKにそれぞれ由来しています。交流電動機のうち、誘導機は商用電源でも大きな起動トルクで始動でき、同期機は効率がよく力率も高いという利点がありました。OYKモータはこれら双方の利点を兼ね備えた誘導同期電動機に分類され、誘導機運転から同期機運転へ同期引込みを自動で行う斬新な電動機でした。

OYKモータは、当時、日本と海外7か国で特許を得て、機械駆動用に応用されていきました。高効率で高力率なOYKモータを使用することは電力会社と需要家の双方に利点があったため、電力会社からはOYKモータの使用が奨励され、使用した場合は電気料金を割り引く措置が取られました。1931年に設置された上野地下鉄ビル壁面の電気式大時計の駆動用に5馬力のOYKモータが用いられたほか、山本教授、川原田が研究に取り組み1930年に公開実験が行われた機械式TVの同期装置駆動源にも適用されました。これらOYKモータの応用は、現在取り組まれている、大学研究成果の社会実装を先駆けたものでもありました。

☆顕彰先 : 早稲田大学

☆展示場所 : 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1
 (早稲田大学西早稲田キャンパス)

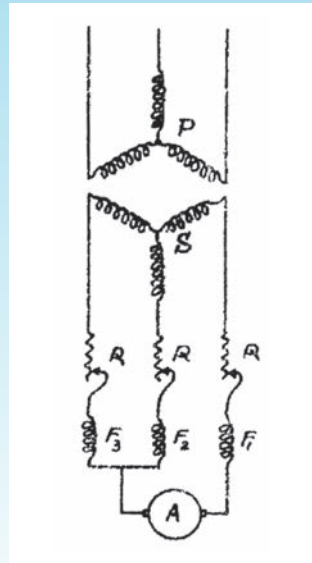
☆ホームページ : <http://www.ase.sci.waseda.ac.jp/>

☆アクセス (最寄駅) : 東京メトロ副都心線 西早稲田駅より直結



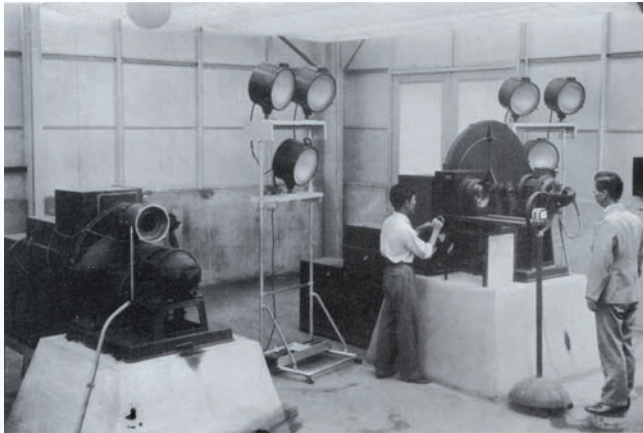
③

出典：東京地下鉄道株式会社編『東京地下鉄道史 乾』（1934）



④

出典：日本国特許 第 39641 号「同期電動機」



⑤

出典：『早稲田百年』編纂委員会編『早稲田百年』（1979）

<写真提供：①魚津歴史民俗博物館，②⑤早稲田大学>

① 川原田政太郎

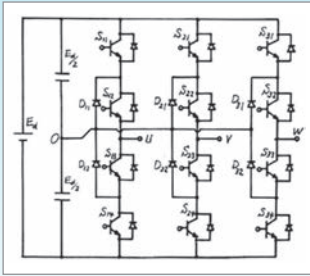
② OYK モーターの外観

③ 上野地下鉄ビルの大時計

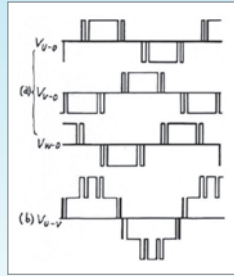
④ OYK モーター回路構成例

⑤ 機械式 TV の研究が行われた早稲田大学テレビジョン研究所の実験風景

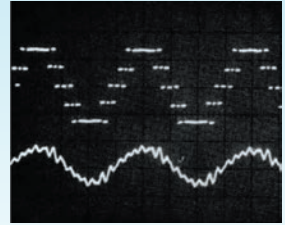
Large-Capacity Three-Level Neutral-Point Clamped Inverters



①



②

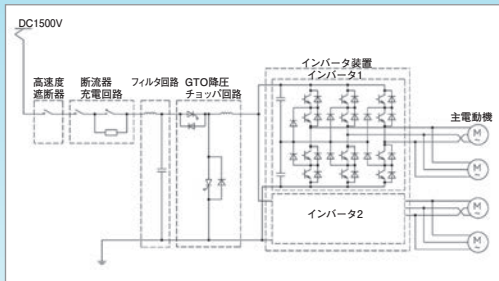


③

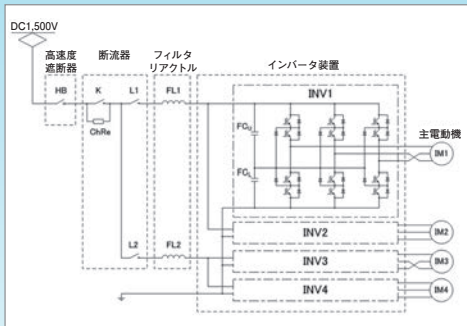
1970年代後半からの半導体製造技術の発展に伴い、半導体をスイッチとして用いた高効率電力変換技術の研究が活発になりました。この技術分野はパワーエレクトロニクスと呼ばれ、代表的な電力変換装置が直流電力を单相または三相交流電力に変換するインバータです。当初の三相インバータは、6個のパワートランジスタを用いた2レベルインバータでしたが、パワートランジスタの耐圧は500V程度であり、三相400V系の誘導電動機を可変速駆動することは不可能でした。このため、2個のパワートランジスタを直列接続して同時にオン・オフさせる方式が検討されました。この三相インバータは12個のパワートランジスタを必要としますが、直流電圧を2倍にでき、出力電圧も2倍にできます。しかし、2個のパワートランジスタを同時にオン・オフさせることは技術的に困難でした。

この課題を解決したのが1980年（昭和55年）3月の電気学会全国大会で長岡技術科学大学が発表した三相3レベル中性点クランプインバータです。この方式も12個のパワートランジスタを必要としますが、6個のクランプダイオードを追加し、直列接続した2台の直流コンデンサの中性点を引き出すことによって上記の課題を解決しました。具体的には（1）直列接続した2個のパワートランジスタの同時オン・オフが不要。（2）出力相電圧は3レベルとなり、高調波電圧・電流が低減し、電動機のトルク脈動や鉄損も低減。（3）すべてのパワー半導体デバイス（パワートランジスタ、帰還ダイオード、クランプダイオード）は同一電圧定格。この技術は、1990年代半ばには鉄鋼圧延機用電動機駆動システムや鉄道車両用電動機駆動システムに実用化され、日本の産業および交通インフラを支える技術として大きく貢献しました。

- ☆顕彰先 : 長岡技術科学大学, 株式会社日立製作所, 株式会社東芝, 三菱電機株式会社, 富士電機株式会社, 東芝三菱電機産業システム株式会社
- ☆所在地 : 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 (長岡技術科学大学)
- ☆ホームページ : <https://www.nagaokaut.ac.jp/>



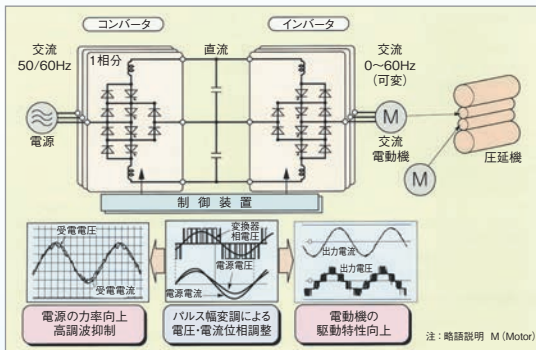
出典：三菱電機技報, Vol.65, No.6 (1991) ④



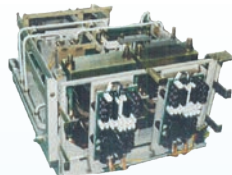
出典：富士時報, Vol.68, No.2 (1995) ⑤



出典：第32回鉄道サイバネシンポジウム, 論文番号515 (1995) ⑥



出典：日立評論, Vol.78, No.6 (1996) ⑦



出典：電気学会研究会資料, MID-97-43 (1997) ⑧

<写真・図提供：①②③東京工業大学(赤木泰文氏), ④三菱電機株式会社, ⑤富士電機株式会社, ⑥東芝インフラシステムズ株式会社, ⑦株式会社日立製作所, ⑧東芝三菱電機産業システム株式会社>

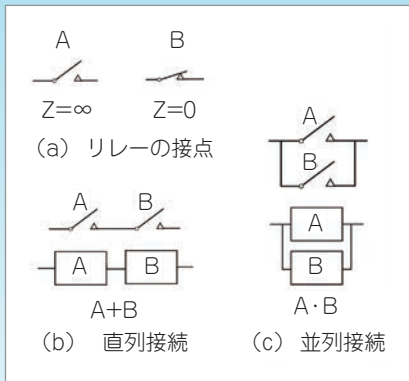
- ① 長岡技術科学大学が1980年3月電気学会全国大会で発表した三相3レベル中性点クランプインバータの主回路
- ② 三相3レベル中性点クランプインバータの理論波形：(a) 相電圧と (b) 線間電圧
- ③ 三相誘導電動機(200V, 2.2kW) 駆動時の線間電圧と電動機電流の実測波形
- ④ 西日本旅客鉄道株式会社207系車両用3ステップVVVFトランジスタインバータの主回路
- ⑤ 高耐圧IGBT(2000V, 400A)を適用した在来直流電車で用3レベルVVVFインバータの主回路
- ⑥ 西日本旅客鉄道株式会社223系1000番代3レベルインバータユニット
- ⑦ 大容量鉄鋼用3レベルGTOコンバータ・インバータドライブシステム
- ⑧ 圧延主機用10MVA3レベルGTOインバータ外観とGTOパワーモジュール外観



①

「スイッチング理論」は、論理代数にもとづくデジタルシステムの基礎理論です。論理式は、19世紀に英国のジョージ・ブールが、古来あった論理学に数学的表現を導入しようとして初めて提案したもので、ブール式と呼ばれます。一方で、20世紀に入り電話交換機などに多数のリレーが用いられるようになると、これを効率的に設計する必要性が生じました。日本電気株式会社の中嶋章は先人が設計した回路を、まとめた動作機能を有する構成部分毎に分類した結果、ある法則性を有することに気づきました。中嶋は同僚榛澤正夫の協力の下に、さらに考究を深めてその法則性を代数的表現にまとめることができました。中嶋はこの結果を榛澤と連名で1936年（昭和11年）に論文として発表しました。この論文が後に発展する「スイッチング理論」の礎となるのです。一般にはスイッチング理論の始祖はシャノンであるといわれていますが、中嶋らはシャノンに2年先行していたのです。また、中嶋らがこの理論の数学的背景を調べて行くうちに、ブールが提唱したブール代数とまったく同じものであることが分かりました。スイッチング理論の誕生により、その後、論理式（論理回路）の簡単化の研究が進められ、1980年代後半には論理設計の自動化が実現しました。今日の大規模なデジタルシステムの設計の礎となった「スイッチング理論」を世界に先駆けて発表した中嶋章の功績は非常に大きいといえます。

- ☆顕彰先 : 日本電気株式会社
- ☆所在地 : 〒108-8001 東京都港区芝5-7-1 NEC本社ビル
- ☆ホームページ : <https://jpn.nec.com/index.html>
- ☆アクセス（最寄駅）: JR田町駅西口（三田側）より徒歩約5分



②



③

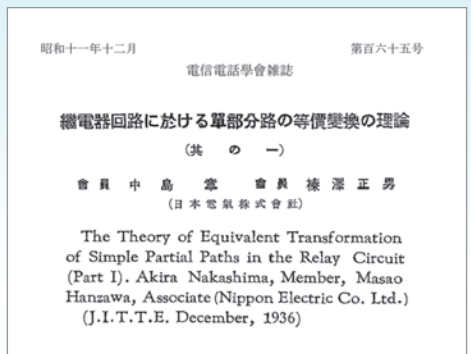
・1847年：ブール代数提案 G. ブール
論理の記号化（論理式表現）

・1936年：スイッチング理論 中嶋章
(1938年：C. シャノン, 1939年：ピーシュ)
論理（式）と実回路の対応付け。
ブール代数（論理式）を用いて
論理回路の設計が可能になる。

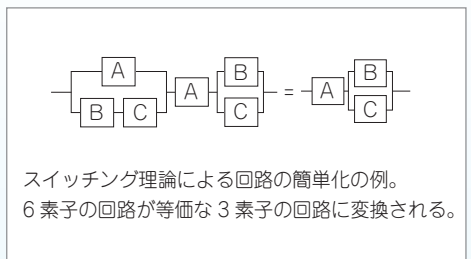
・1952年：論理回路（論理式）の簡単化
カルノー図…人手による簡単化
クーン-マクスキー法
…コンピュータによる簡単化
1950～1970年代 簡単化アルゴリズムの改良
・1986年：論理回路自動設計システム実用化
GE：SOCRATES

・1990年代～：自動設計システム（CAD）の普及
デジタルシステムの自動設計実現

④



⑤



⑥

<写真・図提供：①日本電気株式会社，②③④⑥山田昭彦氏，⑤電子情報通信学会>

① 中嶋章

② 中嶋章の表記法（現在の表現とは「+」「·」が逆）

③ 中嶋章生誕100周年記念復刻英文論文集（フィンランド Tampere 工科大学出版）

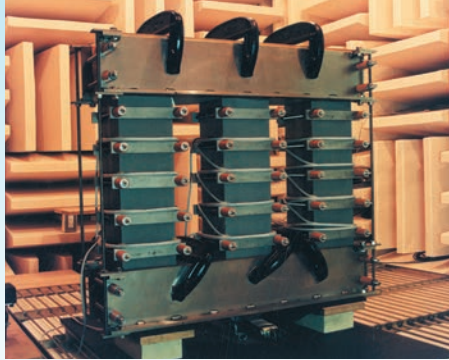
④ スwitching理論の発展

⑤ 1936年12月に電信電話学会雑誌に掲載された中嶋章のスイッチング理論論文のタイトル

⑥ スwitching理論による回路の簡単化

ほうこうせいでんじこうはん
方向性電磁鋼板
 おりえんとこあはいびー
オリントコアハイビー

Grain-oriented Electrical Steel Sheets, ORIENTCORE・HI-B

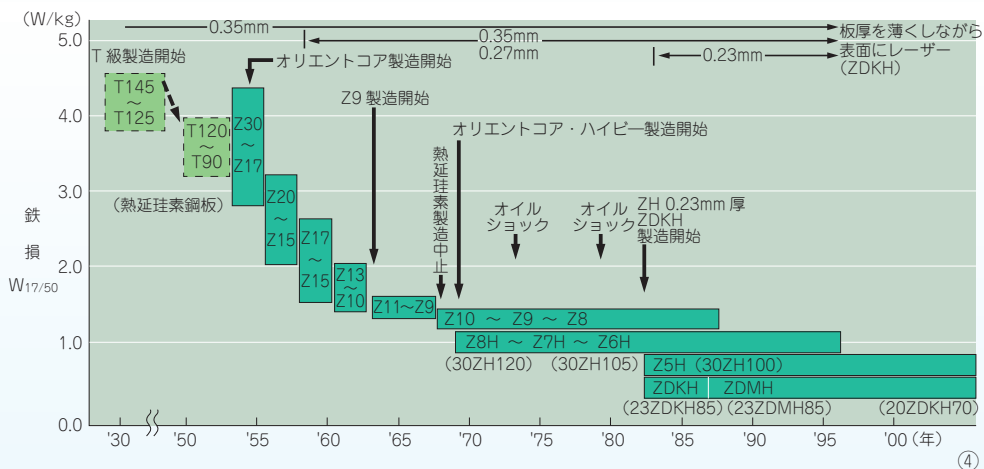
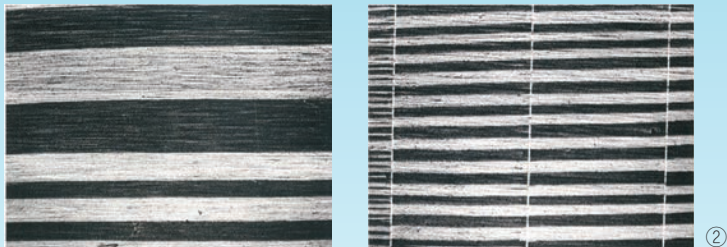


①

20世紀初め、鉄にシリコンを添加し良好な磁気特性を持つ電磁鋼板が誕生し、変圧器や回転機等の電機機器に使われてきました。電磁鋼板は電機機器内で鉄心として使用される際、エネルギーロスとなる鉄損の低減が最も大きな課題となります。1960年代当初は特定の方向に結晶粒を整列させた方向性電磁鋼板が米国社の特許で製造され、この手法でほぼ最高の特性が得られ、改良の見込みがないとされていました。その中、結晶粒成長の制御に耐熱性の高い析出物を新たに用い、鋼板を薄くする工程で最良の組織を得る技術を導入することで、従来よりも結晶粒の方位を高度に揃えた方向性電磁鋼板オリントコアハイビー[®]が1961年（昭和36年）に八幡製鐵株式会社（現日本製鐵株式会社）によって開発され、1968年に工業生産を開始しました。変圧器の電力損失を25%削減、騒音を1/4にできる材料として高い評価を受け、全世界にもライセンス供与され、小型から1000MVA級の大型変圧器まで広く用いられています。また、本材料は電磁鋼板の磁区理論や電機機器への利用技術等、基盤技術や理論構築のための磁性材料としても各研究機関において活用されています。

現在に至るまでレーザー照射型等の改良製品の開発が継続されており、電力システムを支える基盤材料として、省エネルギー社会に貢献し続けています。

- ☆顕彰先 : 日本製鐵株式会社
- ☆所在地 : 〒804-8501 福岡県北九州市戸畑区飛幡町 1-1（八幡製鐵所^{*}）
 〒671-1188 兵庫県姫路市広畑区富士町 1 番地（広畑製鐵所^{*}）
- ☆ホームページ : <http://www.nipponsteel.com>
- ☆アクセス（最寄駅）: JR鹿兒島本線 戸畑駅より徒歩 15 分（八幡製鐵所）
 山陽電鉄 広畑駅より徒歩 10 分（広畑製鐵所）
- ※ 2020 年 4 月よりそれぞれ九州製鐵所八幡地区、瀬戸内製鐵所広畑地区に統合・再編成



<写真・図表提供：日本製鉄株式会社>

- ① 三相モデル変圧器の鉄心を構成する方向性電磁鋼板
- ② 方向性電磁鋼板の磁区（同じ磁化方向を持った一区画）の顕微鏡写真（右は磁区が細分化された写真）
- ③ 方向性電磁鋼板の結晶粒を制御する技術の例
- ④ 方向性電磁鋼板オリントコアハイビーの性能

第13回顕彰委員会

令和元年12月

委員長	日高邦彦	東京電機大学	第100代会長・ 顕彰選考小委員会主査
委員	生駒昌夫	(株)きんでん	第101代会長
委員	大西公平	慶應義塾大学	第102代会長
委員	田中幸二	(株)日立製作所	第103代会長
委員	横山明彦	東京大学	第104代会長
委員	山口博	(一財)関東電気保安協会	第105代会長
委員	南裕二	東芝エネルギーシステムズ(株)	総務企画理事

第13回顕彰選考小委員会

令和元年12月

主査	日高邦彦	東京電機大学
委員	井出一正	(株)日立パワーソリューションズ
委員	太田耕司	東京電力ホールディングス(株)
委員	奥井明伸	(公財)鉄道総合技術研究所
委員	奥山雅則	大阪大学
委員	桂井誠	東京大学
委員	加藤政一	東京電機大学
委員	小坏成一	千葉大学
委員	香山治彦	三菱電機(株)
委員	下平治	日本電気(株)
委員	下村昭二	芝浦工業大学
委員	高橋一嘉	中部電力(株)
委員	土屋賢治	(株)日立産機システム
委員	中川茂樹	東京工業大学
委員	兵庫明	東京理科大学
委員	保科好一	東芝エネルギーシステムズ(株)
委員	前島正裕	国立科学博物館
幹事	下村哲朗	三菱電機(株)
幹事	長谷川有貴	埼玉大学

途中退任

委員	林雅明	中部電力(株)
委員	山本正純	三菱電機(株)

電気技術の顕彰制度『でんきの礎』^{いしづえ}公募案内

電気技術の顕彰制度「でんきの礎」は、平成20年の電気学会創立120周年の記念事業の一環として設立されたもので、毎年数件程度を選定、顕彰しています。

「でんきの礎」候補の提案は、会員資格の有無を問わずどなたでもお寄せいただけますので、下記公募要領をご参照の上、多数の候補をご提案いただきますようよろしくお願いいたします。

～ 公 募 要 領 ～

〈目的〉

電気技術の顕彰制度『でんきの礎』は、「21世紀においても持続可能な社会」を考える上で、20世紀に大きな進歩を見せ、「社会生活に大きな貢献を果たした電気技術」を振り返り、その中でも特に価値のあるものを顕彰することによって、その功績をたたえるものです。これによって、その価値を広く世の中に周知し、多くの人々に電気技術の素晴らしさ、おもしろさを知ってもらい、今後の電気技術の発展に寄与することを目的とします。

〈選定指針〉

電気技術顕彰『でんきの礎』は、電気技術の隠れた功績・善行などをたたえ、広く世間に知らせるものであり、技術史的価値、社会的価値、学術的・教育的価値のいずれかを有し、略25年以上経過したものとします。

〈選定基準〉

少なくとも次の(1)～(3)の価値のうち一つ以上の価値を有するものとし、かつ(4)に該当するものとします。

(1) 技術史的価値

電気技術の発展史上重要な成果を示す物件、史料、人物、技術、場所などで、以下に該当するもの。

1. 未来技術に貢献をしたもの(途中で埋もれた技術も含む)
2. 独創的で第一号になったもの
3. 世界的業績あるいは世界標準になったもの

(2) 社会的価値

国民生活、経済、社会、文化のあり方に顕著な影響を与えたもので、以下に該当するもの。

4. ライフスタイル、コミュニケーション方法を変え、新しい文化を築くなど、社会変革をもたらしたもの
5. 電気に関連する産業あるいは事業の発展に著しく貢献したものの
6. 循環型社会を支える技術あるいは省電力化技術のさきがけとなったもの

(3) 学術的・教育的価値

電気技術を次世代に継承する上で重要な意義を持つものとし、以下に該当するもの。

7. 新しい概念の提案、電気理論の構築を行ったもの
8. 学術的研究で電気工学の発展に貢献したものの
9. 電気工学の教育に大きく寄与したものの

(4) 共通

10. 略25年以上経過したもの

〈顕彰対象カテゴリー〉

顕彰の対象のカテゴリーは、『人』、『モノ』、『場所』、『こと』の4種類とし、国内の電気技術の業績に限定します。

〈提案者の資格〉

電気学会会員・非会員に係わらずどなたでも提案できます。

〈選考方法〉

顕彰委員会にて、厳正なる審査(現地調査・ヒアリング含む)を行い、電気学会としてこれを決定します。

〈顕彰件数と顕彰時期〉

毎年、数件程度を選定し、発表します。3月の電気学会全国大会に合わせて授与式を行い、顕彰状および記念品を授与する予定です。

〈提案期限〉

提案は随時受け付けています(詳細はホームページ参照)。

【提案方法】

「でんきの礎」ホームページより、「『でんきの礎』提案用紙」をダウンロードし、必要事項(提案テーマ名・提案する理由など)をご記入の上、Eメールまたは郵送にて下記宛先までご提出下さい。

【提出先】

〒102-0076 東京都千代田区五番町6-2
HOMAT HORIZONビル8階
一般社団法人 電気学会 総務課 顕彰担当
Eメールアドレス : jimkyoku@iee.or.jp



一般社団法人 電気学会

The Institute of Electrical Engineers of Japan

<http://www.iee.or.jp/ishizue/>



2020年3月10日 発行
一般社団法人 電気学会
〒102-0076 東京都千代田区五番町 6-2
TEL : 03-3221-7312 (代表) FAX : 03-3221-3704
ホームページ <https://www.iee.jp>
©2020 一般社団法人 電気学会

The Institute of Electrical Engineers of Japan
6-2, Go-Bancho, Chiyoda-ku,
Tokyo 102-0076, Japan
TEL : +81-3-3221-7312 FAX : +81-3-3221-3704
URL : <https://www.iee.jp>
©2020 The Institute of Electrical Engineers of Japan