

## 地球環境保全に貢献するアモルファス変圧器

Amorphous Transformer Contributing to Global Environmental Protection

稲垣 勝敏 Inagaki Katsutoshi 桑原 正尚 Kuwabara Masanao 佐藤 孝平 Sato Kohei  
福井 和元 Fukui Kazuyuki 中島 晋 Nakajima Shin 東 大地 Azuma Daichi

地球環境保全が急務となっている現在、生活インフラとして不可欠な電力供給網においても、これを構成する機材、装置の高効率化による環境対策が強く望まれている。

日立グループは、変圧器の待機電力にあたる無負荷損の大幅低減により、超高効率特性を実現できるアモルファス変圧器の研究にいち早く取り組み、製品化した。さらに大容量化、高品質化などの開発を継続し、これまでの出荷実績は約15万台に達している。

今後、ますます高まるであろう全世界的な環境保護の要求に対して、アモルファス素材も含め、継続的かつ戦略的な技術開発や事業展開により、国内外でアモルファス変圧器の導入拡大を促進していく。こうした事業活動を通じた電力供給網における変圧器の損失低減で、将来への豊かな地球環境の継承に貢献する考えである。

## 1. はじめに

地球環境保全の気運が全世界的に高まる中、社会インフラとして欠くことのできない電力供給網においても、これを構成する機材、装置の有効活用や、高効率化による環境対策が強く望まれている。このような状況の下、日立グループは、従来の変圧器に比べて画期的な高効率特性を実現できるアモルファス変圧器について、材料開発から機器への適用技術まで一貫した取り組みを進めており、地球環境の保全に貢献している。

ここでは、アモルファス変圧器に関する開発経緯と国内の導入効果について述べる。

## 2. 配電用変圧器の高効率化規制の動向

配電分野においては、変圧器の高効率化が全世界的に注目されて、国内外で高効率規格の制定が進んでいる。

## 2.1 国内高効率化規制の動向

1980年代から、電力会社が先行して柱上変圧器の高効

率化を推進し、一般産業用変圧器においても2006年から油入変圧器に、2007年からモールド変圧器にトップランナー制度が導入され、世界に先駆けた配電用変圧器の高効率化が行われた。このトップランナー制度の導入により、変圧器の全損失は導入前に比べ約30%低減され、年間約165億kWhの電力量削減を実現した。CO<sub>2</sub>換算では約620万tの削減効果(社団法人日本電機工業会 公表値)を上げている。

なお、さらなる環境負荷低減のため、2014年施行を目標に第2次トップランナー制度の導入について、関係省庁、業界団体などで、制度の検討が進められている。

## 2.2 海外高効率化規制の動向

米国では、2010年1月からDOE (United States Department of Energy: 米国エネルギー省) が制定した効率規制が施行された。また現在、2016年施行を目標に、さらな

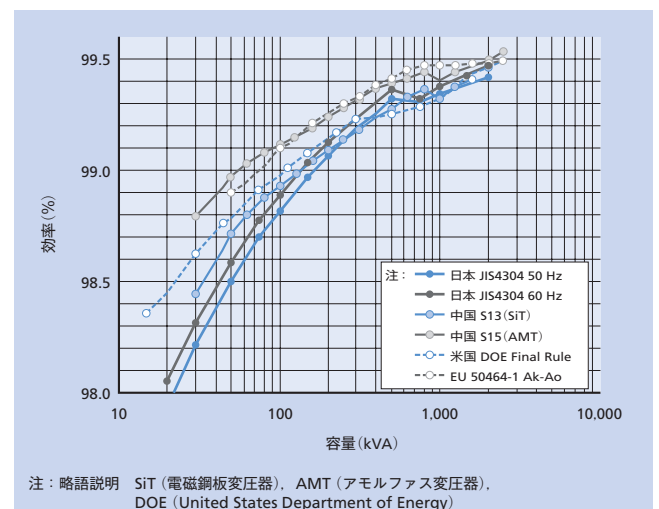


図1 | 配電用変圧器の効率規格比較 (三相器の例)

日本はトップランナー制度導入により、高効率規格の導入を世界に先行して進めたが、各国でこれを超える高効率規格の制定が行われている。

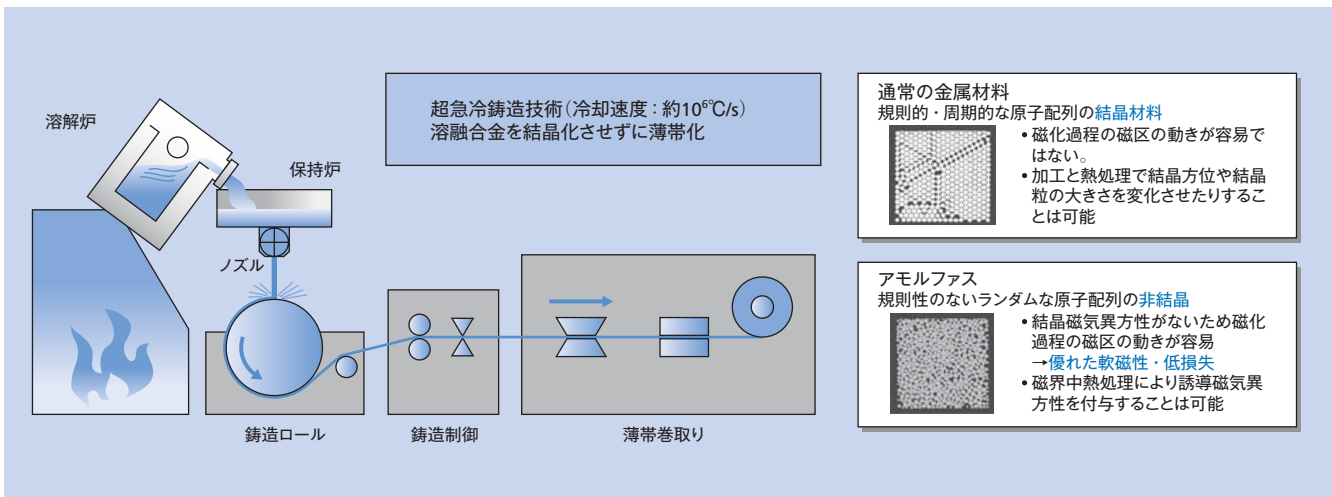


図2 | アモルファス薄帯の製法と特長

超急冷铸造技術により、熔融合金を結晶化させずに薄帯化した。非結晶構造と超薄膜素材の特性によって、優れた軟磁性と低損失特性を実現している。

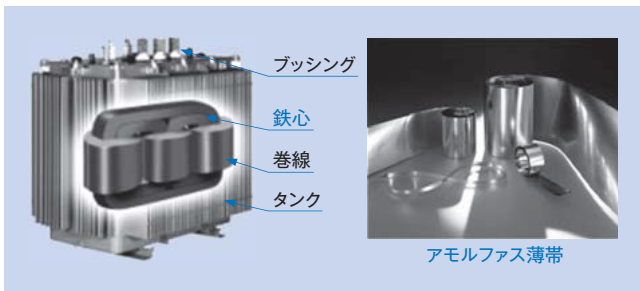


図3 | アモルファス変圧器の構造とアモルファス薄帯

鉄心にアモルファス薄帯 (板厚約25 μm) を用い、画期的な低損失化を実現した。

る高効率化規格制定の検討が進められている (図1参照)。

欧州でも、新たに発効されたEN50464-1で、旧規格よりも低い損失値規定が規格に取り込まれた。さらには、2005年8月に発効された工業製品の高効率化を目標としたEuP指令 (エネルギー使用機器のためのエコデザイン枠組み指令) の対象に変圧器が追加され、2012年規格制定、2013年施行を目標に調査プロジェクトで制度検討が進んでいる。

一方、急速な経済発展を遂げている中国でも、電力インフラ整備における環境対策のため、高効率変圧器の導入拡大をねらい、配電用変圧器規格の高効率化が進んでいる。

以上のとおり、各国で競い合うように配電用変圧器の高効率化の検討が進んでおり、日本が環境対策で世界をリードするためには、アモルファス変圧器をはじめとする高効率変圧器の技術開発の加速と、普及拡大のための諸制度の導入が急務となっている。

### 3. アモルファス変圧器の開発経緯と特長

日立製作所は2 kVAの変圧器を1911年に完成させた。変圧器は創業製品のモータと同時期に製作開始された歴史の古い製品である。それ以来、大容量化、高電圧化などの開発を進めると同時に、小型化、低損失化を図ってきた。中でもこのアモルファス変圧器は、従来の変圧器に比べて

画期的な低損失化を実現できる変圧器として導入拡大が期待されている。

#### 3.1 アモルファス薄帯とアモルファス変圧器

アモルファス薄帯は、鉄、ボロン、けい素を主原料とし、これらを熔融、急冷することで作られる。アモルファスとは非結晶を意味し、急冷により、金属特有の原子が周期的に配列した結晶構造を持たず、ランダムな状態のまま凝固した合金薄帯を形成することができる (図2参照)。

従来、変圧器の鉄心材料には電磁鋼板が使用され、鉄鋼メーカーによってその性能は大きな進歩を遂げてきたが、日立グループは、さらなる低損失化のため、鉄心材料にアモルファス薄帯を使用したアモルファス変圧器にいち早く着目して開発を積極的に推進してきた (図3参照)。

#### 3.2 アモルファス変圧器の開発経緯

日立グループにおけるアモルファス変圧器の開発および導入経緯を図4に示す。

基礎技術開発に着手したのは、1980年代初頭である。1991年に電力会社向け柱上変圧器を製品化し、1997年には一般産業向け変圧器も製品化した。以降、性能向上、シリーズ拡充などを行い、発売後約20年が経過した現在、出荷実績は約15万台となっている。また、真に環境に配慮した変圧器をめざし、アモルファス合金のリサイクルシステム確立を検討し、2008年から一部の電力会社で実行されている。

なお、素材事業では、2003年に日立金属株式会社が米国Honeywell社のアモルファス事業を買収し、2007年には米国工場に加え、島根県の安来工場に生産設備を新設した。これにより年間10万tの供給体制とし、世界各地でのアモルファス薄帯の需要増加に対応している。

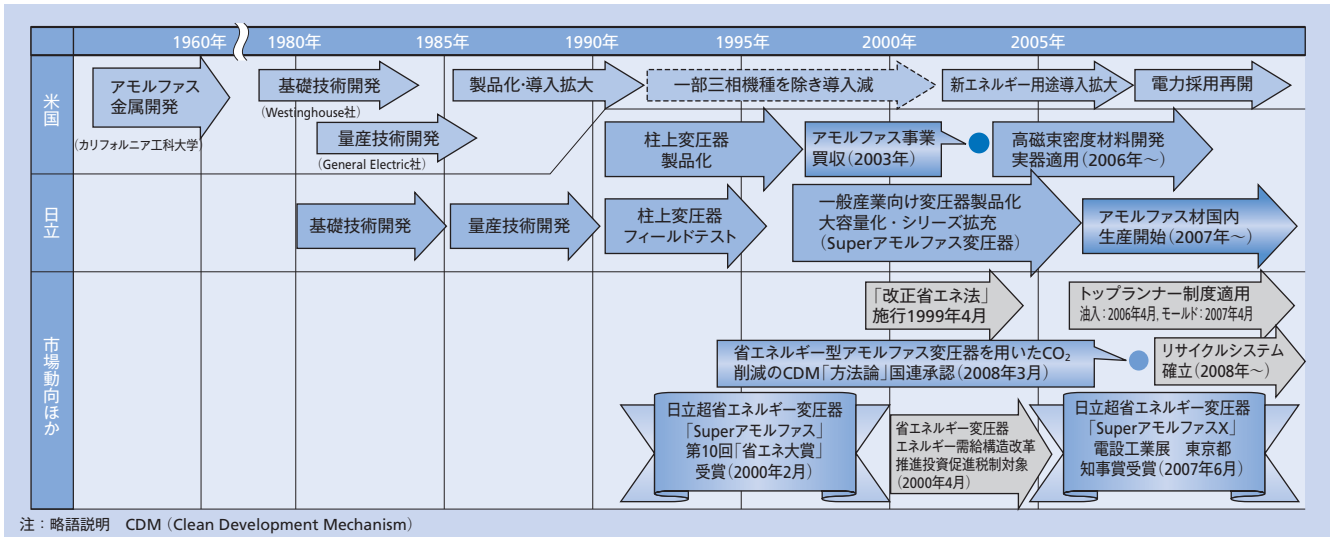


図4 | アモルファス変圧器の開発、導入経緯

日立グループはいち早く開発に着手しており、環境保護の社会的ニーズに対応するため、素材から変圧器まで一貫した技術開発、事業展開を進めている。

### 3.3 アモルファス変圧器の特長

変圧器の損失は、負荷に関係なく常時発生する無負荷損と、負荷電流の2乗に比例して発生する負荷損に大別される。アモルファス変圧器は無負荷損が非常に小さく、配電用変圧器において一般的な平均負荷率20～30%程度<sup>1), 2)</sup>での効率が特に優れており、従来の変圧器に比べ大きな損失低減を実現する。日立グループは、ユーザーが負荷率に合わせて最適な変圧器を選定することができるように、電磁鋼板変圧器も含めた豊富なラインアップを取りそろえている(図5、図6参照)。

### 3.4 アモルファス変圧器の技術開発動向

アモルファス変圧器は、アモルファス薄帯が電磁鋼板に比較して飽和磁束密度が低いなどの物性に起因し、寸法質量が大きくなるなどのデメリットがあった。これを解消す

るために、2003年から従来の変圧器用鉄系アモルファス薄帯2605SA1の飽和磁束密度を上げる開発に着手し、2005年に高磁束密度材2605HB1を量産化した。好磁束密度アモルファス材2605HB1の特性を図7に示す。

2605HB1の適用により、アモルファス変圧器の小型軽量化や低騒音化などさまざまな効果が期待されることから、材料開発と同時に変圧器への適用開発も行い<sup>3)</sup>、2006年に電力会社に採用され、現在では一般産業用変圧器にも導入拡大が進んでいる(図8参照)。

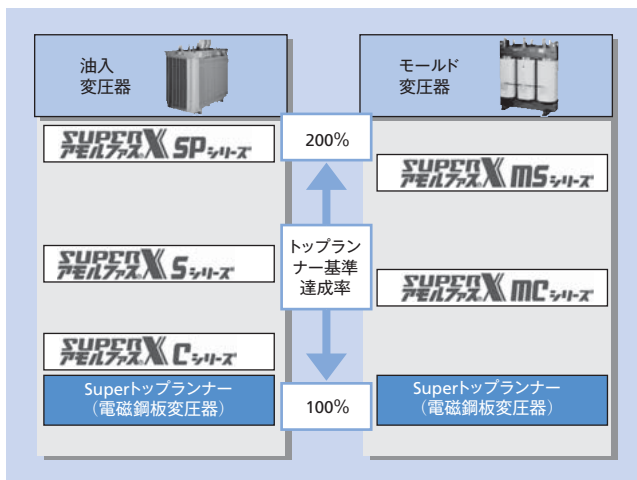


図5 | アモルファス変圧器のラインアップ

変圧器の選定において、実際に使用される負荷率を考慮し、最適な変圧器をその効率特性から選定することが重要である。日立グループは、顧客ニーズに応えるため、複数のシリーズのアモルファス変圧器を製品化している。

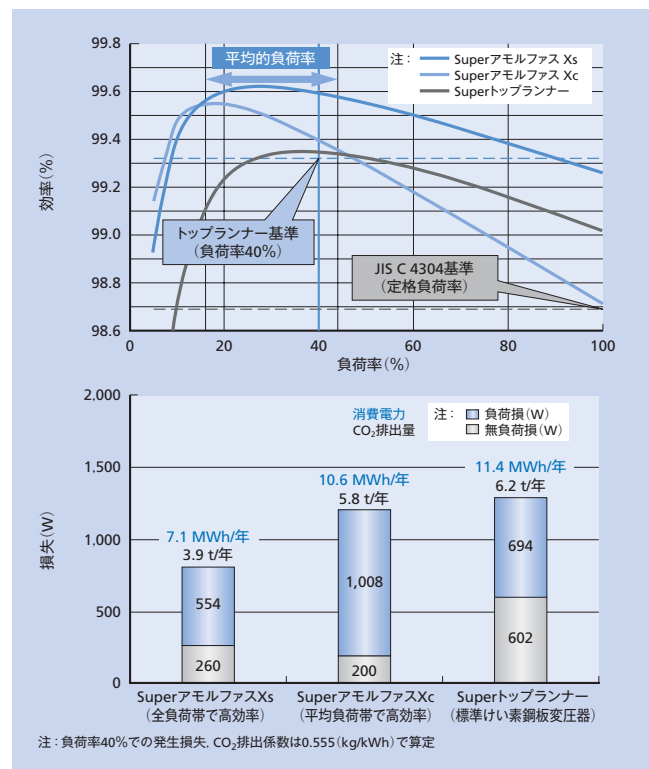


図6 | アモルファス変圧器の特長

アモルファス変圧器は無負荷損が非常に小さく、配電用変圧器において一般的な平均負荷率(20～30%程度)での効率が特に優れている。

| 材料名                   | 飽和磁束密度<br>B <sub>s</sub> (T) | 保持力<br>H <sub>c</sub> (A/m) | 比抵抗<br>ρ (μΩ・m) | 鉄損<br>P <sub>13/50</sub> (W/kg) | 磁歪(わい)<br>λ <sub>s</sub> (ppm) | 板厚<br>t (mm) | 占積率<br>SF (%) |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| 方向性電磁鋼板<br>(最高級タイプ)   | 2.03                         | 45.0                        | 0.5             | 0.440                           | -1                             | 0.23         | >95           |
| 現行アモルファス<br>(2605SA1) | 1.56                         | 2.0                         | 1.3             | 0.070                           | 27                             | 0.025        | >84           |
| 新アモルファス<br>(2605HB1)  | 1.64                         | 1.5                         | 1.3             | 0.063                           | 27                             | 0.025        | >84           |
| 備考                    | 高いほど<br>小型化                  | 小さいほど<br>低損失                | 大きいほど<br>低損失    | 小さいほど<br>良好                     | 小さいほど<br>低騒音                   | 厚いほど<br>加工性良 | 大きいほど<br>小型化  |

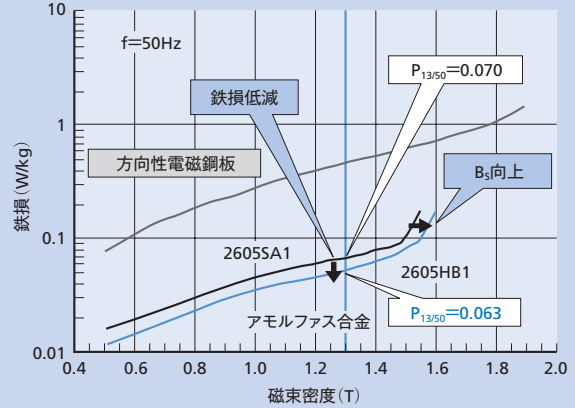
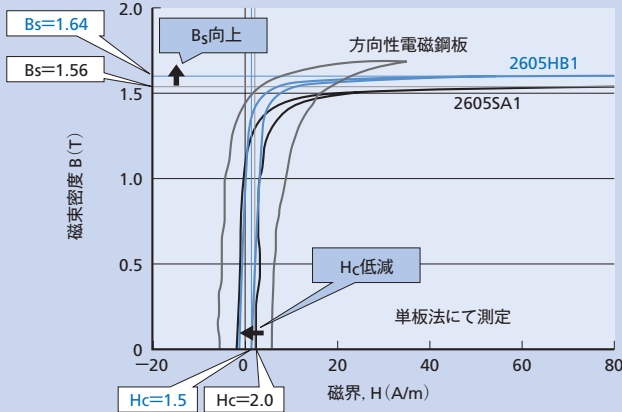


図7 | 高磁束密度アモルファス材2605HB1の特性

変圧器の性能・仕様向上のため、素材から変圧器への適用技術まで一貫した開発を進めている。2605HB1の適用により、変圧器の質量軽減、損失低減などが可能となった。

| 項目       | 電力単相 6 k/210 V 20 kVA 60 Hz |              |              |
|----------|-----------------------------|--------------|--------------|
|          | SiT                         | AMT (SA1)    | AMT (HB1)    |
| 外径 (mm)  | 364<br>(100)                | 385<br>(104) | 355<br>(98)  |
| 高さ (mm)  | 713<br>(100)                | 740<br>(104) | 707<br>(99)  |
| 質量 (kg)  | 138<br>(100)                | 170<br>(128) | 148<br>(107) |
| 無負荷損 (W) | 61<br>(100)                 | 22<br>(36)   | 17<br>(27)   |
| 負荷損 (W)  | 281<br>(100)                | 285<br>(102) | 280<br>(100) |
| 全損失 (W)  | 定格負荷                        | 342<br>(100) | 307<br>(90)  |
|          | 40%負荷                       | 106<br>(100) | 68<br>(64)   |



図8 | 2605HB1を適用した変圧器の諸元比較

2605HB1の適用により、現行の電磁鋼板変圧器と同等の寸法、質量のアモルファス変圧器の実現が可能となった。

また、今後、アモルファス変圧器の導入増加が期待される海外においても注目されており、さらなる性能向上とコスト削減の取り組みを進めている。

#### 4. アモルファス変圧器の導入効果

前述のとおり、アモルファス変圧器はその低損失特性により、大きな省エネルギー、環境負荷低減効果を発揮する。

##### 4.1 日立産機システム中条事業所における導入効果事例

株式会社日立産機システム中条事業所は66 kVで受電、6 kVに降圧して事業所内配電を行っている。さらに、各生産現場で6 kVを低圧に降圧し、各種設備の電源供給を行っている。1997年から工場の省エネルギー、CO<sub>2</sub>の排出原単位削減を推進するため、生産現場ごとに配電監視システムを設置し、各種生産ラインにおける電力使用量の「見える化」を行った。この結果に基づき、老朽化変圧器の更新時に、生産ライン運転状態に合った変圧器の設置台数、容量の選定を実施すると同時に、すべての変圧器をアモルファス変圧器とすることで、電力損失の大幅な低減を図った(図9参照)。

##### 4.2 国内における導入効果試算

現在まで、電力会社向けに柱上変圧器が約39万台(他社供給分を含む)、一般産業向けに油入タイプ、モールドタイプを合わせて約1万2,000台、合計で約40万台が設置されて稼働しており、CO<sub>2</sub>削減に大きく貢献している。

この導入による効果はCO<sub>2</sub>換算の概算値で年間12万tと、非常に大きな環境負荷低減を実現しており、今後、国

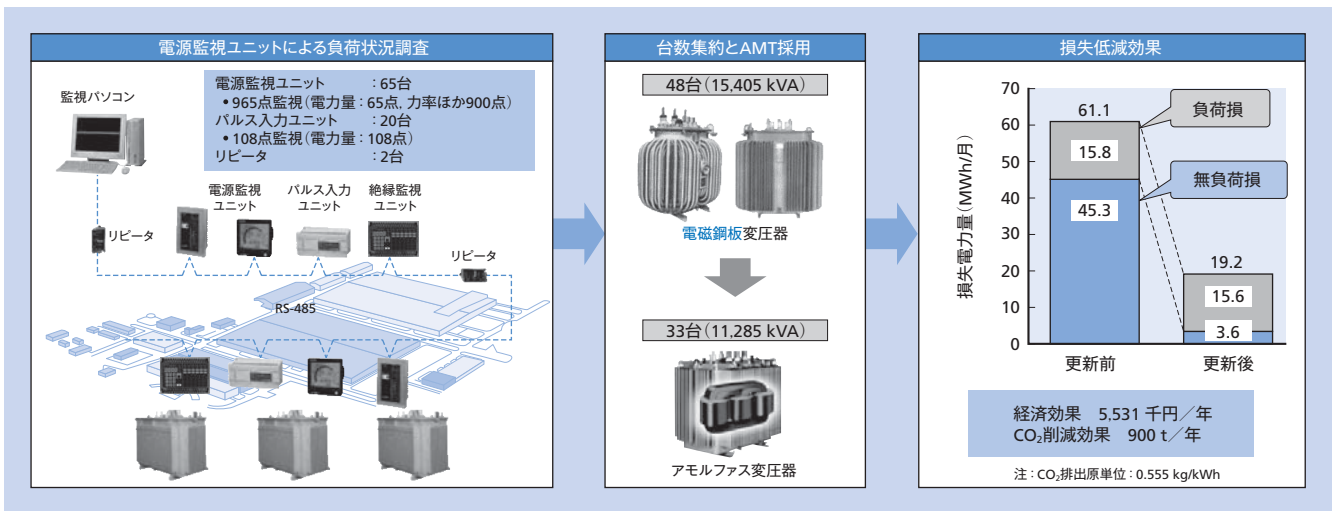


図9 | アモルファス変圧器の導入効果事例

日立産機システム中条事業所では、変圧器の台数集約とアモルファス変圧器の採用により、電力損失を $\frac{1}{3}$ に低減、大きな経済効果と環境負荷低減効果を実現した。

表1 | アモルファス変圧器の導入効果 (国内配電網全体)

単機の効果は小さいが、配電用機材は設置台数が多く、合計では大きな効果となる。

| 区分     | 設置数<br>(万台) | 平均容量<br>(kVA) | 損失低減<br>(kW/台) | CO <sub>2</sub> 排出係数<br>(kg・CO <sub>2</sub> /kWh) | CO <sub>2</sub> 削減量<br>(t/年) |
|--------|-------------|---------------|----------------|---|------------------------------|
| 電力会社向け | 39.0        | 20            | 0.04           | 0.453 <sup>*1</sup>                               | 61,900                       |
| 一般産業向け | 1.2         | 500           | 0.95           | 0.555 <sup>*2</sup>                               | 55,500                       |
| 合計     | 40.2        | —             | —              | —   | 117,400                      |

\*1: 電気事業連合会公表の2007年国内電力の平均実績値

\*2: 特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令 (2006年経済産業省・環境省令第3号) に定めるデフォルト値

内外でさらなる導入拡大が期待される (表1参照)。

## 5. おわりに

ここでは、アモルファス変圧器に関する開発経緯と国内の導入効果について述べた。

海外でもアモルファス変圧器は注目を集めている。近年、インフラ整備と同時に環境対策を進める中国、インドを中心としたアジア圏でアモルファス変圧器の導入が急速に進んでいる。また、欧米諸国でも、環境保全の諸施策を進める中で、今後の普及が見込まれ<sup>4)</sup>、全世界的にアモルファス変圧器の導入拡大が予想されている。

日立グループは、このような社会ニーズに応えるために、電力供給網における環境対策に寄与する製品、サービスの提供を積極的に進め、豊かな地球環境を将来へ継承するために貢献していく考えである。

## 参考文献

- 高木、外: 柱上変圧器負荷パターン作成モデルを用いたアモルファス変圧器の評価, 電気学会論文B 128巻, 6号 (2008)
- Potential for global energy savings from high efficiency distribution transformers, Leonardo Energy Transformers (2005.2)
- A. Sato, et al.: DEVELOPMENT OF DISTRIBUTION TRANSFORMER BASED ON NEW AMORPHOUS METALS, CIRED2009 Session 4 Paper No. 0474 (2009)
- An EPRI White Paper "Amorphous Metal Transformer: Next Steps," Electric Power Research Institute (2009.7)

## 執筆者紹介



稲垣 勝敏

1990年日立製作所入社, 株式会社日立産機システム 事業統括本部 受配電・環境システム事業部 変圧器設計部 所属  
現在, 配電機材の設計, 開発に従事  
電気学会会員



桑原 正尚

1997年日立製作所入社, 株式会社日立産機システム 事業統括本部 受配電・環境システム事業部 変圧器設計部 所属  
現在, 油入変圧器の設計, 開発に従事



佐藤 孝平

1999年日立製作所入社, 株式会社日立産機システム 事業統括本部 受配電・環境システム事業部 変圧器設計部 所属  
現在, モールド変圧器の設計, 開発に従事  
電気学会会員



福井 和元

2001年株式会社日立中条テクノロジー入社, 株式会社日立産機システム 事業統括本部 受配電・環境システム事業部 変圧器設計部 所属  
現在, 電力会社向け変圧器の設計, 開発に従事



中島 晋

1982年日立金属株式会社入社, 軟磁性材料カンパニー 所属  
現在, 変圧器用アモルファス合金の研究開発に従事  
電気学会会員



東 大地

2001年日立金属株式会社入社, 軟磁性材料カンパニー 所属  
現在, 変圧器用アモルファス合金の研究開発に従事  
IEEE会員