

技術解説



Technical Review

エレクトロヒート技術の動向と今後に向けた開発

内山洋司*

Trend and Future Development of Electric Heat Technologies

Yohji Uchiyama

Synopsis

Primary energy is mainly used to produce oil products and electricity. Electricity is superior to other secondary energy as an energy carrier. Electricity consumption has been increasing in use of heating as well as mechanical power, lighting, air conditioning and information & communication. This article describes superiority of electricity, trend of electricity/heat demand and applications as well as characteristics of electric heat technologies in industries and commercial sectors.

The electrification rates indicated by the ratio of electricity demand to the total energy consumption in each sector are 19 %, 44 % and 47 % for industry, residential and commercial sectors, respectively. 84 % of the total electricity is consumed in the power demand. Heating demand of electricity is rather small, 11 % of the total electricity demand in industry. Electric heat demand is potentially expected to increase in steel products, oil/coal products and foodstuffs manufacturing industries.

The share of electricity heating is expected to increase from the current tendency of electrification promoted by technological progress of electric arc/plasma heating, electromagnetic radiation heating, infrared and far infrared heating and heat pump as well as environmental issues of preventing global warming. Main applications of advanced electric heating technologies in industries as well as commercial sectors are explained in this article.

1. はじめに

産業の発展と人々の生活に電気は欠かせないエネルギーとなっている。電気は、天然ガス、石炭、石油といった化石燃料だけでなく、二酸化炭素を直接排出しない再生可能エネルギーや原子力からも生産できるため、地球温暖化の原因となっている二酸化炭素の排出量を抑制することができる。また、送電線や配電線を使って消費者へエネルギーを瞬時に送れるだけでなく、ほかのエネルギーにも比較的容易に変換し利用できるといった優れた特性がある。

電気は20世紀に入ってから、その消費が急速に増加してきた。その用途は、最初は照明や動力が中心であったが、社会の目覚ましい技術進歩によって、加熱、暖房、

給湯、調理といったエレクトロヒート（電気加熱）分野へも拡大している。より快適で便利な生活、工場などでのクリーンな作業環境を求める社会の発展に、エレクトロヒート技術が果たす役割は年々大きくなっている。

本報は、最初に、エネルギーとして優れている電気の特性と電気利用の社会的なニーズについて解説する。次に、技術革新が進むエレクトロヒート技術と社会で応用されている具体的な事例について紹介する。

2. 電気の特性と電力化の進展

電気は、今日の社会で産業活動と私たちの日常生活に欠かせないエネルギーとなっている。その用途は、照明、モータ、空調機器、電気分解、情報・通信など様々である。

2013年10月28日受付

*筑波大学 システム情報系、工博(Dr., Eng., Information and Systems, University of Tsukuba)

広く利用されている理由として、光、仕事、化学、磁気、熱など他のエネルギー形態に容易に変換できる利便性のほか、利用時に石油や石炭のように大気汚染物質を放出しないといった優れた環境特性が考えられる。電気

はその優れた特性から、その利用分野は加熱炉、電力機械、半導体、ロボットなどの産業部門から、鉄道や自動車など運輸部門、そして照明器具、電化製品、コンピュータなど民生部門へと広がっている (Fig. 1)¹⁾。

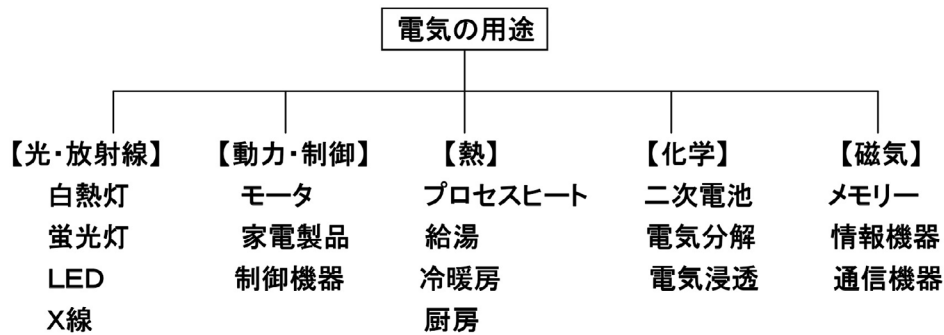


Fig. 1. Utilization of electricity in various ways.

電気の利用によって人々の生活は快適になり、社会の電力需要は増加の一途を辿っている。電力需要は、産業活動と密接に関係しており、産業活動が活発になると増加する。1965年度以降の日本の発電電力量をみると、1965年度で1902億kWhであったのが、1980年度で5772億kWh、1990年度で8573億kWh、2000年度で10915億kWh、そして2011年度には11078億kWhにまで増加している。

より快適で便利な生活を求める社会の発展は、電力の消費量を増大するだけでなく、エネルギーの電力シフトをもたらしている。社会で使われている1年間のエネルギー消費量の内、電気が占めている割合を電力化率という。社会のエネルギー消費にはエネルギー資源としての供給量である一次エネルギー総供給と、最終需要家に使

われている、最終エネルギー消費量がある。後者はエネルギー変換後のエネルギーであるため、変換損失が大きい電気では最終エネルギーの電力化率の値は一次エネルギーに比べて小さくなる。Fig. 2は、日本の電力化率の推移を一次エネルギーと最終エネルギーで描いたものである。図からエネルギーの電力化は着実に進んでいることがわかる。最終エネルギーに占める電力の割合は、1970年頃は15%であったが、2011年度には約30%と2倍にまでなっている。電力化率を一次エネルギーで見ると、現在は約40%になっていることがわかる。特に電力化率が高い部門は業務部門と家庭部門で、最終エネルギーで計算すると、その値はそれぞれ47%と44%になっている。それに対して、産業部門の電力化率は19%である。

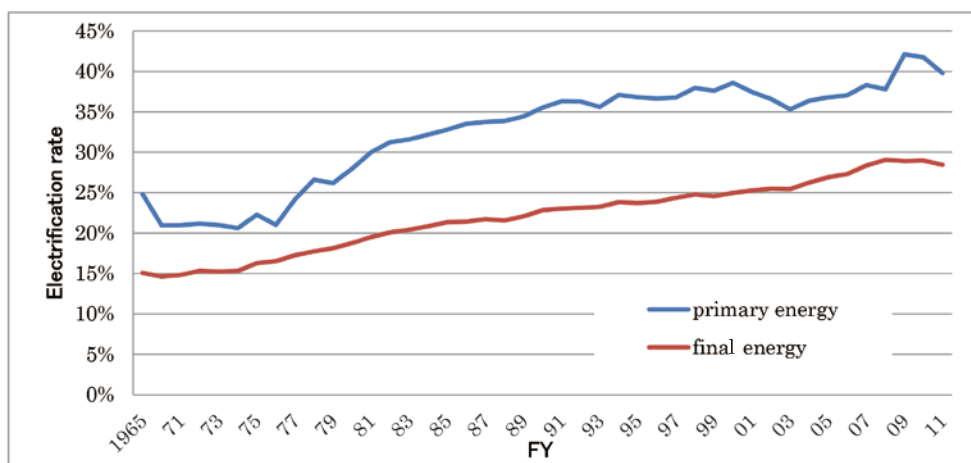


Fig. 2. Trends of electrification rates in Japan²⁾.

3. 部門別熱需要

従来、加熱には、石油、石炭、LPG、都市ガスなど化石燃料を直接燃焼して利用する方法や、ボイラで製造される蒸気を利用する方法が一般的であった。しかし、近年、産業における高温加熱や、業務・商業・家庭といった民生部門の給湯・暖房それに厨房の熱源として電気が利用されるようになってきた。

(1) 民生部門の熱需要

わが国のエネルギー消費は、二度にわたる石油危機以降、産業部門を中心にエネルギー利用の効率化が図られ、1980年代半ばまでは概ね漸増傾向で推移してきた。しかし、その後1985年に石油価格の暴落で燃料価格が安値で低迷し、また国内のバブル景気による経済成長で再びエネルギー需要は増加し始めた。最近では、1990年代半ばのバブル崩壊による景気後退や円高などが原因で企業の海外移転が進み、国内のエネルギー需要の伸びは横這いか低下の傾向にある。

最終エネルギー消費を部門別にみると、2011年度では産業部門が全体の46%を占め最も多く、民生部門と運輸部門、それに非エネルギー部門はそれぞれ28%、24%、

2%になっている。民生部門と運輸部門のエネルギー需要は、人々の快適さや利便性を求めるライフスタイルの浸透により、着実に増え続けている。民生部門のエネルギー需要の増加は、家電製品の大型化と多機能化、情報機器の普及など主に電力消費の増加による。民生部門のエネルギー消費量を、さらに家庭部門と業務部門に分けてみると、比率はそれぞれ56%と44%となっている。

Fig. 3は、家庭部門の最終エネルギー消費量の推移を用途別に描いたものである。家庭の消費量はこれまで着実に増加していたが、2000年代に入ってから伸び率が停滞し始めている。2011年度の用途別エネルギー消費量をみると、動力他が最も多く、全体の3分の1以上を占めている。暖房と給湯の熱需要も多く、それぞれ27%と28%となっている。家庭で使われているエネルギーをエネルギー源別にみると、全体の52%は灯油、LPG、都市ガスといった化石燃料で、主に暖房、給湯、厨房の用途に使われている。低炭素社会の流れの中で、家庭部門の二酸化炭素の排出量を抑制することが求められている。それには、エネルギー当たりの二酸化炭素排出量が小さい電気の利用が必要になり、暖房や給湯、それに厨房の用途にエレクトロヒートの需要が期待される。

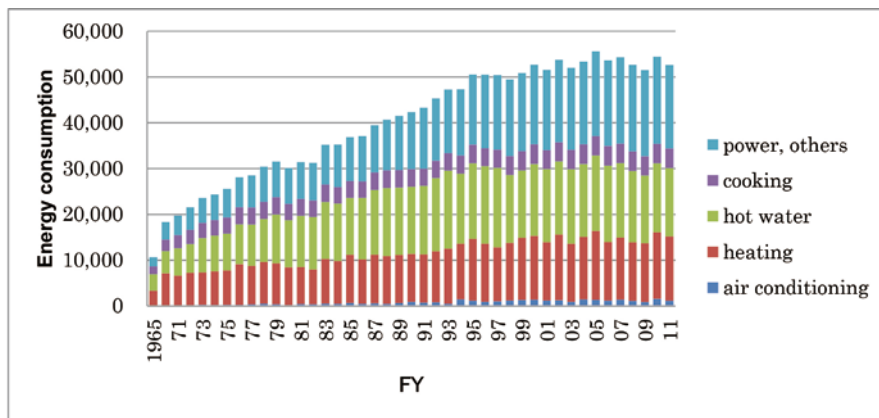


Fig. 3. Trend of residential energy consumption in use [unit:10¹⁰ kJ]³⁾.

Fig. 4は、家庭部門と同様に、業務部門の用途別エネルギー消費量の推移を描いたものである。業務用のエネルギー消費量は、1970年代の石油危機によって伸びが停滞したが、その後、1980～2000年の間は着実に増加してきた。しかし、2000年以降になると再び伸びは低下しはじめ、最近では需要そのものが減少している。減少している理由は、暖房と給湯需要の落ち込みである。落ち込み原因として、業務部門における省エネルギーの進展、サー

ビス・ソフト産業の経済成長の停滞などが考えられる。

用途別のエネルギー消費では、動力他が全体の49%と半分近くを占めている。暖房と給湯の熱需要は、それぞれ17%と14%で、合わせて31%であり、家庭部門に比べて小さいことが分かる。エネルギー源別にみると、都市ガス、石油、石炭が占めている割合は全体の42%である。これから、業務部門の暖房、給湯、厨房の熱需要のほとんどに化石燃料が利用されていることが

わかる。家庭部門と同様に、業務部門でも二酸化炭素排出量を抑制していくことが求められており、今後は化石

燃料を使用している用途にエレクトロヒートの利用が高まっていくことが期待される、

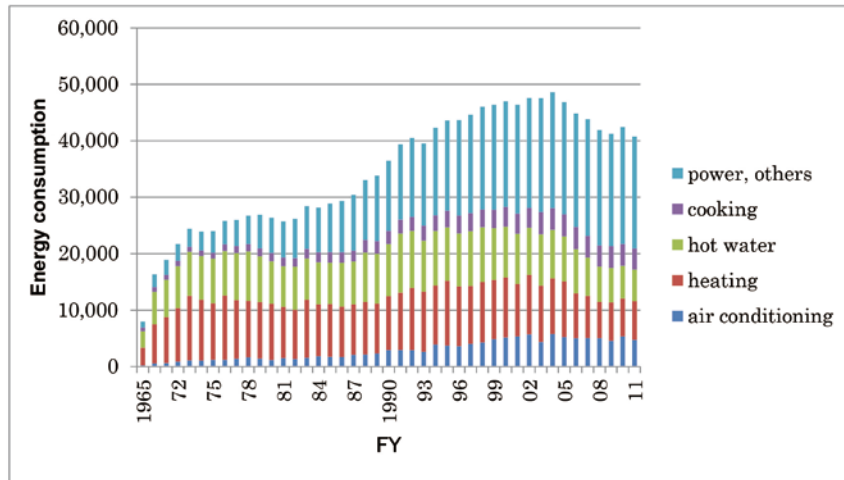


Fig. 4. Trend of commercial energy consumption in use [unit:10¹⁰ kJ]³⁾.

(2) 産業部門の熱需要

産業部門は、1973年の石油危機までは伸び率が高く、1973年度には全エネルギー消費の66%を占めていた。しかし、石油危機をきっかけに、省エネルギーの進展とエネルギー多消費産業である素材から加工組立や電子・情報への産業シフトにより、1973～1986年度までは年平均マイナス1.4%で推移した。その後、石油価格の下落によって日本経済が回復すると、エネルギー需要は再び増加し始め、1986～1999年度までは年平均伸び率はプラス1.9%にまで回復した。産業部門のエネルギー消費量は景気による影響を受けやすく、バブル経済がはじけた2000年以降、再び消費量が低下している。2000～2011年度の伸び率は年平均マイナス1.4%である。

産業部門では様々な用途にエネルギーが使われている。Fig. 5は燃料の業種別消費量を示したものである。

図から直接加熱の燃料消費量が最も多く全体の56%、次いでボイラ用燃料消費量で34%、両者を合わせた割合は全体の90%に達している。直接加熱の燃料消費量は、鉄鋼業が際立って多く、次いで、窯業・土石業、石油・石炭製品業、化学工業の順となっている。ボイラ用燃料では、パルプ・紙・紙加工業と化学工業が多く、両者を合わせた割合は全体の53%になっている。次いで、鉄鋼業、石油・石炭製品業、食料品製造業の順になっている。

残念なことに加熱エネルギーを熱源別に調査したデータは明らかにされていない。しかし、大半は石炭や石油などの化石燃料であると推定される。加熱に使われているエレクトロヒートの電力量にしても限られている。今後、エレクトロヒートが持つ特性を生かした技術革新によって、電気が加熱用途に適用されることが望まれる。

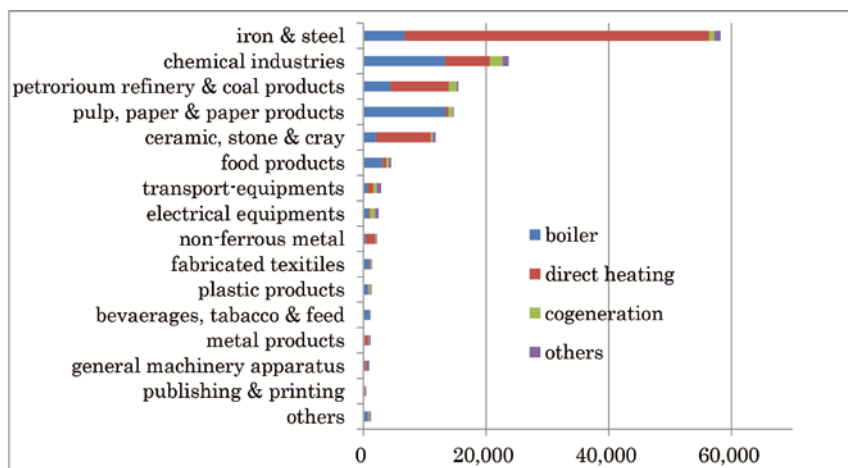


Fig. 5. Sectorial fuel consumption in use(FY 2001)[unit:Mlitre(oil equivalent)]⁴⁾.

産業用ボイラは、様々な温度領域で利用されている。

Fig. 6は、Fig. 5の中のボイラ用燃料が各業種において、どのような温度領域に利用されているかを示したものである。図からボイラ燃料全体の80%が250℃以上のプロセスヒートに利用されていることが分かる。

次いで150～200℃の領域で、全体の17%が消費されている。この温度領域で利用している業種には、食品製造業、化学工業、パルプ・紙・紙加工業、繊維工業、飲料・たばこ・飼料製造業、電気機械器具製造業などがあげられる。図から、産業用ボイラの総熱需要は 2.12×10^{15} kJとなる。

産業部門の電力消費量を業種別に描いたのがFig. 7である。電力消費量が多い業種には、鉄鋼業、化学工業、電気機械器具製造業、パルプ・紙・紙加工業があげら

れ、その4業種だけで全体の57%になる。用途別にみると、全体の84%が「動力・その他」としての利用である。

加熱用の割合は約11%である。産業全体で見た電力消費量は358 TWhになっており、この値は一次エネルギーに換算すると 3.15×10^{15} kJとなる。このうち加熱用に使われている量は、 0.36×10^{15} kJであり、その値は現在、化石燃料によって消費されている産業用ボイラ熱需要の17%に相当しており、現状ではそれほど大きな値とはなっていない。今後は、化石燃料が使われている産業部門の直接加熱やボイラ用の熱需要、また民生部門の暖房・給湯の熱需要にエレクトロヒートが使われるようになれば、その割合は大きく高まっていく可能性がある。

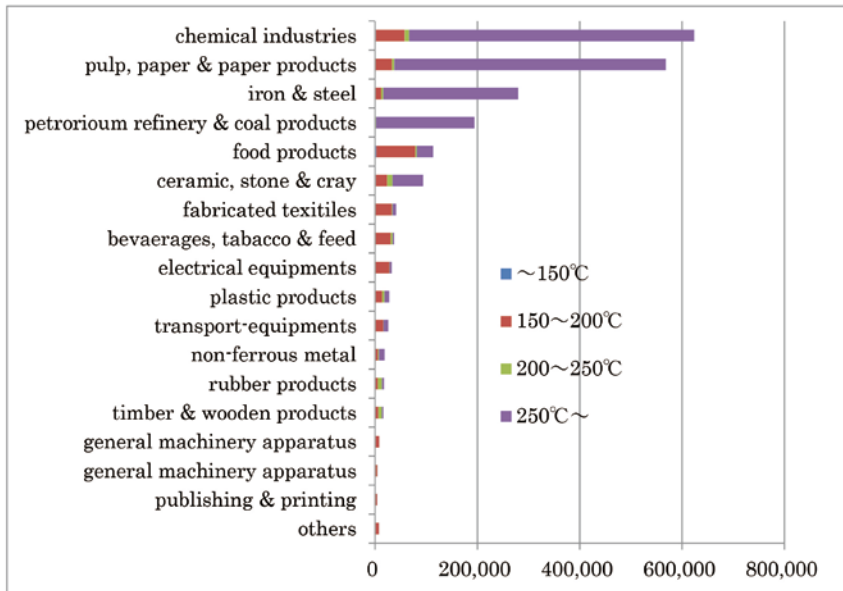


Fig. 6. Sectorial consumption of industrial steam boiler in temperature(FY 2001)[unit:10⁶ MJ⁴].

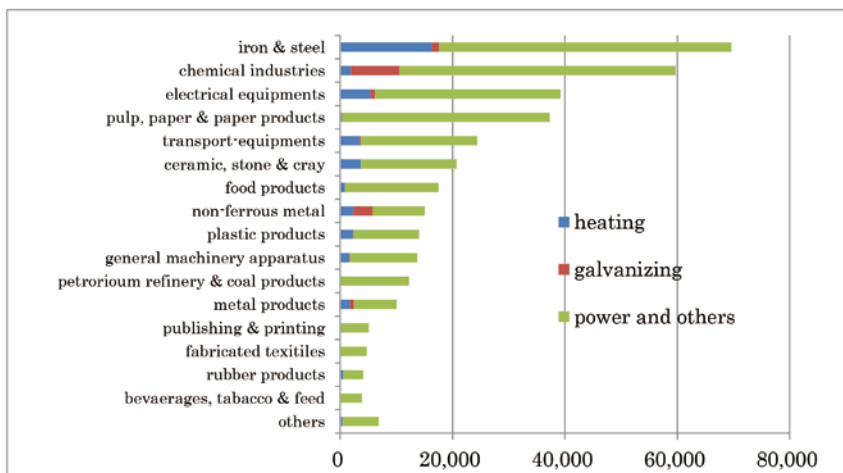


Fig. 7. Sectorial electricity consumption in use(FY 2001)[unit:1000 MWh⁴].

4. エレクトロヒート技術の発展

電気加熱の歴史は1800年代に始まる。当時、様々な加熱原理が発見された。最初の拡がりには、燃焼式では加熱が難しい高温加熱分野への応用であった。わが国での普及は、主に第二次世界大戦以降のことで、1960年代の高度経済成長や1970年代の石油危機など、さまざまな時代背景と産業構造の変化で、さまざまな用途に電気加熱は応用されてきた。電気加熱の種類には、抵抗加熱、アーク・プラズマ加熱、誘導加熱、誘電加熱、赤外・遠赤外加熱、電子ビーム加熱、レーザー加熱などがある。近年、ヒートポンプを使った産業用加熱技術も発達し、それを含めた電気加熱全体をエレクトロヒートと呼ぶようになってきた。

(1) エレクトロヒートの特長

電気による加熱は、通電による発熱や発生する電界を利用してのことから、加熱に際して酸素を必要としない。また、さまざまな原理によって熱に変換できる電気加熱には次のような特長を有している⁵⁾。

- ①高効率加熱: 加熱材の被加熱部分を直接、加熱し、不必要なエネルギー消費が軽減できるため加熱効率が高い。
- ②局所加熱: 高周波焼き入れのように、処理に必要な表層部分だけを加熱できるなど、必要箇所を必要温度で加熱することができる。
- ③急速加熱: 被加熱部分を短時間で加熱でき、製品の生産性を高めることができる。
- ④雰囲気加熱: 不活性ガスや真空中での加熱が可能で、加熱材の酸化防止と、品質や歩留りの向上が図れる。
- ⑤高温加熱: 金属の溶解・焼結、炭素の黒鉛化など高温加熱に優れている。
- ⑥制御性: 簡単かつ素早い温度制御、容易な起動停止といった優れた制御性を持ち、高い品質を維持できる。
- ⑦コンパクトな炉熱容量: 炉体と蓄熱量を小さくでき、エネルギー消費の抑制と熱応答性に優れている。
- ⑧現場の作業環境: 燃焼炉と比較して、周囲への排熱や水蒸気が少なく、また汚染物質を放出しないために、クリーンな職場環境が維持できる。

上に述べた電気加熱に対して、ヒートポンプは異なる

原理で加熱する方法である。ヒートポンプは低温から高温に熱を輸送する装置で、その原理は、フランス人カルノーによって考えだされた。当初、熱を取り出して冷熱を生産する技術として発展した。1850年頃から製氷用冷凍機の普及が始まり、その後、冷凍庫や冷蔵庫へと発展していった。1950年代になると業務用や家庭用のクーラーが普及し始め、さらに1970年頃になると、冷暖房用のエアコンとして、ヒートポンプの低温熱源と高温熱源の両方が利用されるようになった。

(2) 抵抗加熱

抵抗発熱体に電流を流し、そのジュール熱を利用して被加熱物を加熱する方法である。ジュール熱とは導線に定常電流を一定時間流した時に発生する熱量で、その大きさ P は次式のように電流 I の二乗と導線の抵抗 R に比例する。

$$P=I^2R$$

これから、 t 秒間に発生するジュール熱 H は、 $H = P \cdot t$ となる。抵抗加熱は、トースター、ヘアドライヤー、電気毛布など身近な電気器具に数多く使われている。

抵抗加熱を大別すると、間接抵抗加熱と直接抵抗加熱の2つの方式がある。間接抵抗加熱とは、抵抗発熱体により発生する熱を放射、対流、伝導によって被加熱物に熱を伝えるもので、被加熱物の形状、加熱炉の雰囲気、加熱前後の処理工程といった装置の種類や形式を自由に選べるだけでなく、制御も容易であることから多方面に採用されている。

それに対して、ジュール熱で被加熱物を直接加熱する直接抵抗加熱は、被加熱物だけを内部から均一に加熱できるために効率が高いという利点がある一方で、被加熱物が均一な抵抗を有していなければならないために用途が限定されるといった課題がある。

発熱体には、古くからニクロム線が使われてきている。しかし、近年、材料技術の進歩が著しく、Fe-Cr-Al系、Ni-Cr系とタンゲステン、モリブデンのような高融点金属のほか、炭化ケイ素、モリブデンシリサイド、ランタンクロマイドなどの非金属発熱体も開発されている。

(3) アーク・プラズマ加熱

電極と被加熱物との間にアーク放電を発生させ、アークのエネルギーを被加熱物へ伝えて加熱する方法である。アーク放電の中では、電子、中性粒子、イオンが存在するプラズマが形成されており、大きな運動エネルギーをもった電子が衝突によって中性粒子やイオンにエネルギーを与えている。アーク放電は、温度や気体の種類にもよるが、 $0.1 \sim 0.01 \Omega \text{ cm}$ と低い抵抗率で、比較的低い電圧で大きな電流を流している。アーク加熱には、加熱される物体自体を電極としてアークを発生させ加熱する直接アーク加熱方式と黒鉛など消耗式の電極と被加熱物との間にアークを発生させて加熱する間接アーク加熱方式がある。また、アーク放電をノズルやガス流で拘束して加熱するアーク・プラズマ加熱もある。この方式は、アーク加熱に比べて装置が複雑になるものの、より高い指向性と高温を得ることができる特長を有している。

(4) 誘電加熱

電界内に置かれた樹脂や木材など電気不良導体（誘電体）は、内部に電氣的平衡状態からの歪である分極を発生する。誘電体に高周波電圧を加えると、誘電体内に発生した双極子は反転して周囲の分子との間で摩擦を起こし、その結果、摩擦によるエネルギーは誘電体内で熱となる。この誘電損失によって発生した熱によって誘電体を加熱する方法を誘電加熱という。誘電加熱は、加熱電源の周波数により高周波誘電加熱とマイクロ波加熱に分類される。前者は、並行する電極間に挟まれた誘電体に $4 \sim 80 \text{ MHz}$ の高周波電界をかけることで誘電損失を利用して加熱する方法である。

それに対して、後者はマイクロ波オープンのような 2450 MHz のマイクロ波による放射電界の変化を利用して加熱する方法である。マイクロ波加熱は、熱伝導などの助けを借りずに加熱できる特長を有しているが、電磁波の電力密度の減少によって均一に加熱できる被加熱物の厚さに制限がある。

(5) 赤外・遠赤外加熱

赤外・遠赤外加熱は、放射による熱エネルギーを利用した加熱方法の1つである。赤外線は可視光線とマイ

クロ波の間に位置し、波長は $0.78 \mu\text{m} \sim 1 \text{ mm}$ である。このうち、 $3 \mu\text{m} \sim 1 \text{ mm}$ の波長帯を遠赤外線と呼んでいる。プラスチック、ゴム、塗料、繊維、食品など高分子物質は、 $2.5 \sim 30 \mu\text{m}$ 程度の波長領域に多くの吸収帯をもつため、入射した遠赤外線が吸収されやすい。吸収された遠赤外線は、物質の分子運動を激しくし熱を発生させる。遠赤外線は物質に吸収されると次第に減衰していく。物質表面から距離 d だけ内部に進入した赤外線のエネルギーの大きさ $I(d)$ は、下記の式で表わされる。

$$I(d)=I(0)\exp^{-a \cdot d}$$

ここで、 a は物質の吸収係数と呼ばれる。赤外線のエネルギーが半減する距離を物質の浸透深さといい、その値は実際の物質で $10 \sim 100 \mu\text{m}$ である。

(6) ヒートポンプ

ヒートポンプは外部から仕事を与えることで熱を生産しており、その熱サイクルは発電技術やガソリン機関などの熱機関の逆サイクルになる。発電技術の熱効率は、得られる仕事を投入した熱量（燃料投入量）で割ることで求まる。ところがヒートポンプの性能はその逆になり、得られる熱量を投入した仕事で割ることによって表され、通常は 100% を越えた値となる。そのため、ヒートポンプの性能は効率とはいわずに成績係数（COP：coefficient of performance）と呼ばれている。

装置は、基本的には凝縮器と蒸発器によって構成されており、蒸発器では作動媒体の蒸発による吸熱現象、また凝縮器では凝縮による発熱現象が生じている。蒸発器で発生する熱は冷房や冷凍の低温熱源として、凝縮器の熱は暖房や給湯などの高温熱源として利用される。蒸発器で吸収した外界の熱は、凝縮器の高熱源に移動して利用されていることからヒートポンプと呼ばれている。熱を低温から高温に汲み上げるためには仕事が必要となる。仕事は、駆動方法によって、ターボやスクリーユ冷凍機のような圧縮式と、吸収式や吸着式といった熱駆動とに分けられる。

圧縮式ヒートポンプの成績係数は年々向上してきている。特に近年の技術進歩は著しく、ターボ冷凍機のCOPは 6.7 を達成し、 10 年間で性能は約 1.4 倍にまで向上している。家庭用のエアコンのCOPも 6.8 と約 2 倍

になっている。電動で駆動するヒートポンプは回転機械を使っているために、圧縮機やシステム設計の進歩によって性能の向上や用途の拡大が期待できる。

5. 主な適用分野

エレクトロヒートの応用は産業部門に始まる。当初、金属の製錬・加工の高温加熱としてアーク加熱、抵抗加熱の一種である直接通電加熱や誘導加熱などが使用された。その後、エレクトロヒートが持つ多様性と技術進歩によって、その適用分野は拡がり、食品加工、木材乾燥、樹脂・ゴムの加熱など非金属の内部加熱に誘電加熱やマイクロ波加熱が使われるようになってきた。また、社会のニーズから従来の高温加熱だけでなく暖房、給湯、除湿など低温加熱分野に遠赤外加熱やヒートポンプの普及が進んでいる。さらに、近年は、プラズマ、電子ビーム、イオンビームなどによる新しい表面処理や加熱方式への適用、それに金属や非金属の切断、穴あけ、溶接、表面処理、溶解などにレーザー加熱が利用されるなど、エレクトロヒートは様々な産業分野にその用途が拡がりつつある。ここでは今後、産業・業務・家庭分野で普及が期待されているエレクトロヒート技術を紹介する。

(1) 産業分野

エレクトロヒートが産業分野に利用され始めて2世紀近くを経ており、その中でも抵抗加熱は1840年頃より、アーク加熱は1880年頃より鉄くずの溶解に、誘導加熱は1890年頃より金属の溶解に、赤外加熱は1940年頃より石英ガラスの溶解や塗装の乾燥に、マイクロ波加熱は1950年頃より食品の加熱に利用されはじめてきた。各方式の発明後にも実用化に向けた熱効率の改善、周辺技術も含めたコスト面からの改善が行われ、現時点では各方式とも熱効率、イニシャルコスト、操業性、安全性のどれをとっても完成度の高い技術にまで進化している。とはいえ今後も技術改善は続けられてゆくであろう。

エレクトロヒートが普及していく上で最大の課題はコスト問題である。一般に、エレクトロヒートはボイラに比べて精密機械の構造となっておりスケール効果が小さい。そのため、大量の熱需要には大型ボイラで供給するほうが設備費は安価になる。今後の発展の方向として、

熱需要が高い分野である鉄鋼業、化学工業、パルプ・製紙工業、あるいは電気機械や輸送用機械分野でも小容量・高機能の加熱用途においてエレクトロヒートの利用拡大が求められる。

たとえば製鉄・製鋼分野においてアーク炉法は現状においてもエネルギー消費量、CO₂排出量とも少ないが、排ガス持ち去り熱が30%程度、炉体放散熱が10%以上を占めている。今後は排ガス予熱法の改良、排ガスからの熱電発電、炉体断熱の改善が進められるであろう。また誘導加熱やマイクロ波加熱は被加熱部分に直接作用して加熱が行われることから、ヒータあるいはバーナを用いた雰囲気加熱に比べて高い熱効率を達成するポテンシャルがある。

近年では金属配管を誘導加熱することにより、配管内部を流れる液体や気体を加熱する例が見られつつある。また産業構造が従来の大量生産型から多品種少量生産型へと移行しているが、少量生産とエネルギー効率を両立する技術としても注目されている。現状では投入電力や力率に制約があるため用途が限られている面もあるが、今後は電源装置の改良やコストダウンを進めることで利用価値の高い加熱方式と期待されている。

(2) 電化厨房分野

電化厨房機器は、当初、船舶や高層ビルの厨房を中心に広まったが、1980年代後半から放射熱や排熱が少ない誘導加熱やマイクロ波加熱を用いた厨房機器が外食産業やフードサービス業界に普及し始めた。その理由として、電化厨房機器の制御性と機能性に優れた特性があり、そのことが食品の安全と職場の環境性を求める消費者ニーズに応えたといえる。例えば、調理する温度と時間の管理が容易である他に、食中毒菌を死滅させる食品の加熱調理に対しても優れた操作性がある。また、電磁調理器（IH調理器）、電気式スチームコンベクション・オーブン、電気式回転釜の登場により、厨房室の温度・湿度の上昇が抑えられ、職場環境の改善に大きく貢献することになった。IH調理器はオーブン、ゆで麺機、揚げ物機に、遠赤外加熱は焼き物や保温に、マイクロ波加熱は電子レンジとして広く普及している。ここでは、各加熱機の特徴を組み合わせることで複数のニーズに応えることができる複合加熱機の概要を紹介する。

①マイクロ波加熱と抵抗加熱

従来の抵抗加熱の強制対流とマイクロ波の局所加熱を生かした加熱方法。ヒータ加熱された空気に圧力を加え、ジェット噴射で食品の表面を直接加熱するだけでなく、マイクロ波で食品の内部も加熱することができる。加熱時間を大幅に短縮することができ、生や冷凍食品の表面に適切な焦げ目を付け、内部の食品の味を保って加熱することができる。

②マイクロ波加熱と赤外加熱

マイクロ波加熱に加え、調理器の上下から赤外線を放射することで、食品に焦げ目を付けながら内部を加熱する方法。焦げ目は赤外線ヒータの表面温度の設定で適切に制御することができる。ファーストフード店など忙しい客のオーダーに合わせた加熱調理が可能になる。

③誘導加熱と蒸気加熱

高周波による誘導加熱と蒸気加熱を同時に利用する加熱方法。従来のガス釜に比べて約4倍の加熱能力を実現し、短時間の強火調理でおいしい炒め物ができる利点がある。また、電磁スチームによって、とろ火調理も可能になり、デジタルな出力調整による調理のマニュアル化を可能にした。

(3) ヒートポンプ

ヒートポンプの技術進歩は著しい。その1つに高温化への発展がある。高温化技術の発展は産業部門だけでなく、2001年に自然冷媒の二酸化炭素を利用した給湯用ヒートポンプが製品化され、家庭・業務部門における給湯熱源として利用が広がっていった。近年の技術改良によって約90℃の出湯が可能となり、性能も成績係数(COP)で5.1にまで高まっている。家庭の給湯用ヒートポンプの年間出荷台数は2010年度末で約50万台にまで増加し、その普及台数は200万台以上にもなっている。ホテル・病院・飲食店など業務用にも利用が拡大している。例えば、ホテルなどに普及している循環方式ヒートポンプは、利用しているお湯の一部を循環させ、再加熱ヒートポンプによって熱負荷に合わせてお湯を供給することができる。この技術で瞬時に変化する熱需要に対して効率的に熱を供給することができるようになり、大規模給湯の業務用給湯機として普及が進んでいる。業務用ヒートポンプ給湯機の出荷台数は、ここ数年間で急激に増えている。

ヒートポンプの性能も年々向上しつつある。ここでは、新しい市場へのヒートポンプの応用状況について解説する。

①産業用途への拡大

産業用になると、業務用に比べてさらに大容量化と高温化が求められる。そういった用途に対してヒートポンプ技術は進歩している。高温熱が必要な塗装乾燥工程などでは、これまでは化石燃料の燃焼熱に頼らざるを得なかった。しかし、ヒートポンプの高温化技術進歩によって、塗装乾燥工程にもヒートポンプが導入できるようになった。このシステムは120℃までの温度をヒートポンプで昇温し、その後はガスバーナーを使って170℃まで温度を上げて製品を乾燥するというハイブリッド方式である。これにより、熱負荷が最も大きい熱供給に、性能に優れたヒートポンプが導入されるようになった。

②農業へのヒートポンプ利用

現在、日本では約5万ヘクタールの商業用温室が設置されている。温室の暖房にはA重油を燃料とした加温方式が全体の約95%を占めている。ヒートポンプがハウス加温へ適用できれば、重油の消費量を削減でき温暖化防止にもつながる。その適用は2008年頃に始まり、比較的高値で売れるバラ、ハウスミカン、メロン、あるいは野菜といった栽培施設に利用されつつある。今後、普及をさらに図っていくためには、暖房能力、湿度調節、初期設備費などを考慮した適切な導入システムを検討することが求められる。

③寒冷地仕様のヒートポンプ

暖房・給湯需要が多い寒冷地での利用も大切である。寒冷地では、これまでは、外気が氷点下となり、従来のヒートポンプでは十分な温熱を得ることができなかった。そのため、化石燃料への依存度が高く、環境性や経済性の点から寒冷地でも十分な能力を発揮できるヒートポンプの製品化が望まれていた。このような寒冷地の要望に対してメーカーの技術開発によって寒冷地でも十分な能力と高効率を実現した。寒冷地仕様のヒートポンプは、室外機フィンの撥水加工や霜取り運転の最適化により無駄な運転を削減し、効率を向上したものである。また、インバーターのさらなる高度化により低速から高速まで最適運転を実現した。さらに、圧縮機の高回転化やインジェクション回路を備えることで低外気温時でも十分な暖房能力を確保した。

6. おわりに

エレクトロヒートは、制御性と機能性に優れており、局所加熱や急速加熱、炉熱容量のコンパクト化によって産業、業務、民生部門の様々な用途に利用が拡大しつつある。その性能は技術進歩によって、省エネルギーの向上、職場環境の改善、それに地球温暖化の防止に役立っている。

本報では、最初に電気の特徴を述べ、電気が社会のエネルギー源として利用が拡大している実態を示した。また、今後、利用拡大が期待できる加熱分野のエネルギー需要を産業、業務、家庭の部門別に調査し、潜在的な市場ポテンシャルを明らかにした。さらに、エレクトロヒート技術として、具体的に抵抗加熱、アーク・プラズマ加熱、誘導加熱、誘電加熱、赤外・遠赤外加熱、それにヒートポンプの特性を解説し、それぞれの適用分野を紹介した。

中でも、冷凍庫の冷熱利用から始まったヒートポンプは、高温化・大容量化・高効率化によって産業だけでなく家庭・業務・産業・農業など様々な分野に用途が広がっている。今後は、応用分野として「蒸気代替」「農業電化」「食品工場」「電化厨房」といった電化システムの普及が見込まれ、地球温暖化防止に寄与する技術としてさらなる発展が期待されている。

(文 献)

- 1) 内山洋司「エネルギー工学と社会」放送大学出版(2006)
- 2) 「エネルギー・経済統計要覧」, 日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編, (一財)省エネルギーセンター出版(2012)と「エネルギーバランス表」経済産業省から作成
- 3) 「エネルギー・経済統計要覧」, 日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編, (一財)省エネルギーセンター出版(2012)から作成
- 4) 出典: 経済産業省経済産業政策局調査統計部編, 平成13年度石油等消費構造統計表(2003年)から作成
- 5) 日本エレクトロヒートセンター編「エレクトロヒートハンドブック」オーム社(2011)