

■ 展望・解説 ■

遠赤外線材料とその応用展開

Farinfrared Materials and its Applications

西 野 敦*

Atsushi Nishino



1. はじめに

最近、遠赤外線を利用した様々な機器がブームとなりデパートでは特設コーナーが設けられる等好評である。反面、一部行き過ぎもある。通産省では、平成元年6月に、遠赤外線に関する調査報告書¹⁾をまとめ、正しい遠赤外線の応用と関連業界の振興のための指導を行った現状である。

遠赤外線は、赤外線的一种で、目には見えない波長3~25 μ のものを特に遠赤外線と称し、従来の対流伝熱、伝導伝熱と比較して熱効率の改善や加熱付加価値の高級化(色合、風合、味覚、香り、臭気、暖房感覚等)が可能となる場合があり、折からの省エネ化、住宅の増改築ブームによる高快適化(アメニティ)およびグルメブームによる食品嗜好の高級化志向等の社会背景から日欧米でブームになっているものと思われる。

本報では、このブームの遠赤外線について、電磁波の中での位置づけ、原理、特長、測定機器、遠赤外線材料、発熱体の種類、遠赤外線応用機器等を紹介し、その技術動向と将来展望について概説する。

2. 遠赤外線とは

2.1 遠赤外線と電磁波の波長との関係

図-1は、遠赤外線と電磁波の波長との関係を示したものである。この図から、一般に、遠赤外線は3~400 μ mまたは5.6~400 μ mと分類^{2,3)}される場合があるが、日本遠赤外線協会では、3~25 μ の波長域の赤外線(0.8 μ ~1mm)を特に遠赤外線と称している⁴⁾。このように、遠赤外線は、スペクトル上では可視光線(0.4~0.7 μ)の赤よりさらに長波長側に位置し、強い熱作用を示す放射線を遠赤外線と呼んでいる。

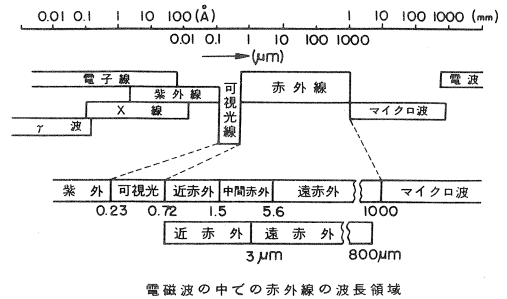


図-1 遠赤外線と電磁波の波長との関係

2.2 波長、絶対温度、放射強度との関係

図-2は、黒体の波長、絶対温度、放射強度との関係を示したものであり、すべての物体は、その温度に相当する電磁波(可視光や赤外線)をその表面から放射しており、Planckによって黒体についての分光放射エネルギー密度、放射線の波長、絶対温度の間の関係式が示されている。図-2から、放射温度が高くな

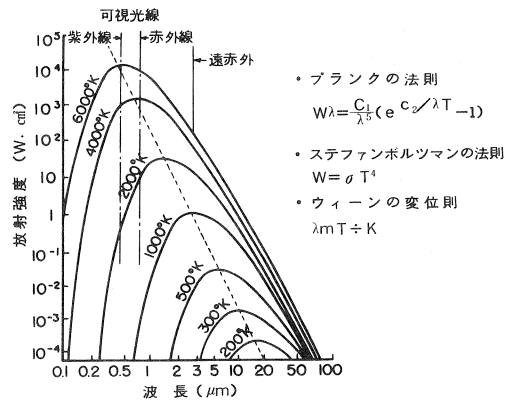


図-2 黒体の波長・絶対温度・放射強度との関係

* 松下電器(株)技術本部中央研究所材料応用開発室長(工博)
〒570 守口市八雲中町3丁目15

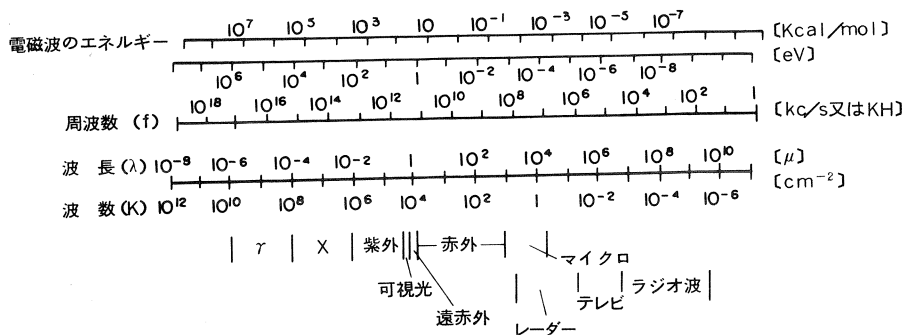


図-3 電磁波のエネルギーと波長, 周波数

ると、可視光線から赤外線への幅広い領域の放射が行われる。また遠赤外線の放射量の増加に比較して、近赤外線、さらに、可視光線領域の放射量比率が増加する。

図から、温度が高くなると可視領域の放射線は増加するが、約3000°Cの白熱電球を例にすると、可視光15%、近赤外80%、遠赤外5%である。可視光領域（光源）や遠赤外線（有効加熱源）のエネルギー効率は余りよくない。この様な理由から、光源効率や遠赤外効率を高めるための発熱体の改良研究が永年行われている理由である。

2.3 電磁波のエネルギーと波長, 周波数との関係

図-3は、電磁波のエネルギーと波長, 周波数との関係を示したものである。赤外線はマイクロ波やテレビの電波などに比べて、物質に対する透過率が弱く、物質によく吸収される性質がある。特に遠赤外線は吸収効率が高いことが実証されている⁵⁾。一般に、高分子化合物は近赤外線をほとんど吸収しないが、遠赤外線を良く吸収することが解明されている。

2.4 放射材料と放射率

すべての物体は、物体を構成する元素の種類、分子の大きさ官能基の種類、その配列状態、結合力の相違等により特有の振動と回転の周波数を持っている。

すなわち絶えず伸びたり縮んだり（伸縮振動）あるいは角度が変わったり（変角振動）し続けている。特に、金属の酸化物やセラミックは単体金属や合金よりも原子配列が複雑になり、放射率（ε）は金属よりも相対的に大きい。表1は代表的な金属、合金、金属酸化物、炭化物の放射率を示している。

2.5 物質の吸収スペクトル

図-4は代表的な物質の赤外吸収スペクトルを示したものである。それぞれの物体の吸収スペクトルに応

表1 各種材料の放射率

金属, 合金の全放射率

物質	放射率	物質	放射率
ベリリウム	0.61	ロジウム	0.24
バナジウム	0.35	タンタル	0.49
タングステン	0.43	チタン	0.63
鉄	0.35	ウランウム	0.54
金	0.14	クロム	0.34
銀	0.07	ジルコニウム	0.32
白金	0.30	炭素	0.80
イットリウム	0.35	グラファイト	0.93
イリジウム	0.30	コンスタンタン	0.35
コバルト	0.36	銅	0.35
マンガン	0.59	ニクロム	0.35
銅	0.10	ステンレス	0.64
モリブテン	0.37	アルメル	0.37
ニッケル	0.36		

各種金属酸化物の全放射率

物質	放射率	物質	放射率
Al ₂ O ₃	0.50	SnO ₂	0.70
BeO	0.35	TiO ₂	0.60
V ₂ O ₃	0.70	Cr ₂ O ₃	0.70
Fe ₂ O ₃	0.70	Ce ₂ O ₃	0.70
Y ₂ O ₃	0.60	ZrO ₂	0.74
Co ₃ O ₄	0.75	CaCO ₃	0.40
MgO	0.20	TaC	0.81
Cu ₂ O	0.70	ZrC	0.46
NiO	0.90	SiC	0.72
ZnO	0.11	Nd ₂ O ₃	0.70
SiO ₂	0.83		

じた遠赤外線エネルギーを放射すると共鳴吸収現象が起こり、被加熱体を効率的に加熱することが可能となる。人体や高分子材料は、図-4のE, Fから近赤外線加熱よりも遠赤外線加熱の方が熱効率の改善や高付加

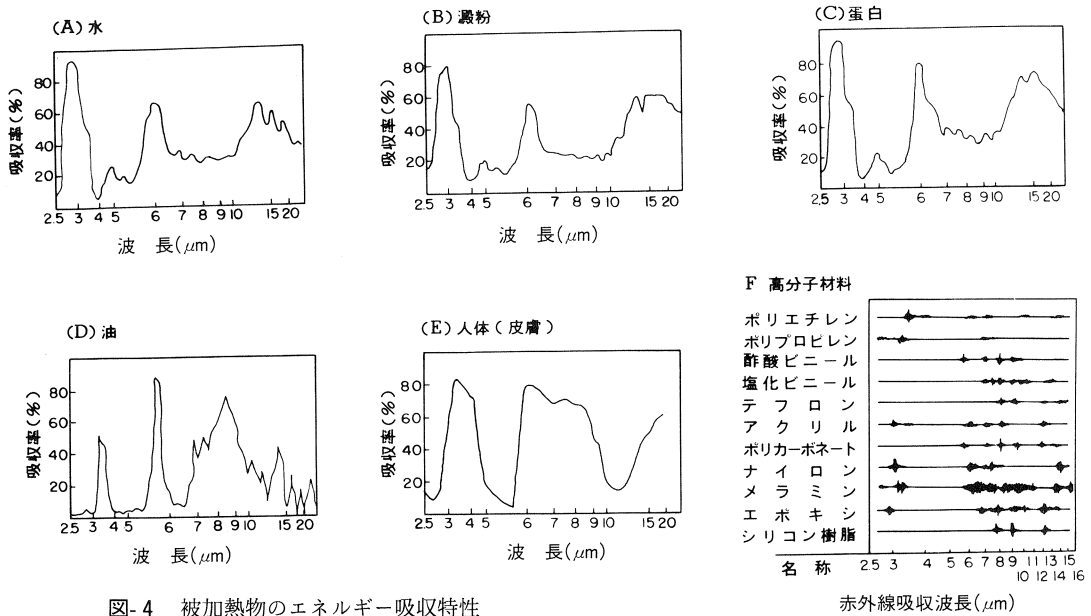


図-4 被加熱物のエネルギー吸収特性

価値加熱がより効果的であることが理解できる。

2.6 遠赤外線測定装置

表2に代表的な遠赤外線測定装置の種類と機能とその特徴を網羅している。計測温度領域は、200℃以下のものが多く、高温発熱体(500~1200℃)の温度域を計測できる装置が少なく、また、高温側の計測装置は極めて高価である。また、これらの装置で遠赤外線を測定する場合に、大気中のH₂O(G)、CO₂や測定室の壁、床の影響を考慮しなければならない。このことが、遠赤外線の測定を困難にしている一因ともなっている。

3. 遠赤外線発熱体の種類とその構造

3.1 遠赤外線発熱体の種類

放射の発生法には、熱放射と冷放射の二種類²⁾があり、それぞれの赤外線放射体の代表的なものを表3に示す。熱放射は原子または分子の熱励起により生ずる放射で、すべての物質は絶対零度(-273℃)以上の温度であれば、必ずそれに相当する熱放射を行っている。したがって、遠赤外帯域に高い放射率をもつ物質を適当な温度に加熱することにより遠赤外線放射発熱体を実現することができる。

表2 代表的な遠赤外線測定装置

項目	測定器	サーモピュア (放射温度形)	放射計	回折格子分光放射率計	FTIR式分光放射率計	スペクトルアナライザ
測定器メーカー	日本パーズ, その他	日本パーズ, その他	東京精工, その他	日本分光, 島津, 日本電子他	日本分光, 島津, 日本電子他	米国ミラネッド社 (日本パーズ)
測定方法・原理	物体の放射エネルギーの強さを測定し物体温度を測定	Hg Cd Te 検出器などで放射エネルギー量を測定	回折格子で単色光に分光	マイケルソン干渉計を用いて干渉計を発生	CVFフィルタで波長域をフィルタカット	
測定温度域	-20~1,300℃	常温~	200℃~加熱ヒーターのコントロール範囲	200℃~加熱ヒーターのコントロール範囲	50~1,200℃	
測定波長域	8~12 μm	0.5~27 μm	2~33 μ	2.5~25 μ	1.4~14 μ	
測定距離	12.5~∞	任意	装置に近接 (数+cmに固定)	装置に近接 (数+cmに固定)	1.2m~	
測定時間	数秒	数秒	10~30分	0.5~30秒	30秒~2分	
測定サンプル形状	商品形状の測定可能	商品形状の測定可能	平板状サンプルに限る	平板状サンプルに限る	商品形状の測定可能	
得られるデータ	温度分布	全放射エネルギー	赤外分光放射, 透過, 反射特性	赤外分光放射, 透過, 反射特性	遠赤外放射エネルギー分布	
その他の特徴	・広範囲	・簡便 ・安価	・分析機器として使用可能 ・卓上設置形	・分析機器として使用可能 ・卓上設置形	・小形, 可搬形 ・基準黒体内蔵	

表3 赤外線放射体

分類	方式	放射物質	放射源例	放射波長域 (μm)	備考
熱放射	通電による抵抗発熱利用	タングステン	赤外線電球	1~25	外管バルブ(ガラス)で長波長側がしゃ断される。外管バルブからの2次放射あり。
		ニクロム タantal	電ヒ器 タ	2~5	
		炭化ケイ素	グローバ	1~50	低電圧, 大電流
		セラミックス	ネルンストグローア	1~50	通電初期予熱が必要
	他の熱源による2次加熱利用	金属(ステン レスなど)	シーズヒータ	4~10	
		セラミックス	IRS形ランプ ラジアントバーナ	4~25 1~20	ガス燃焼による加熱
放電による加熱利用	カボーン	カーボンアーク灯	2~25	すす発生などの環境問題あり	
冷放射	気体放電利用	水銀 セシウム キセノン 二酸化炭素	水銀ランプ キセノンランプ C O レーザ	0.8~2.5	外管バルブで長波長側がしゃ断される。外管バルブから2次放射あり

3.2 遠赤外線発熱体の構造

遠赤外線放射発熱体は、その材質および製造技術の面から大きく三種類に大別される。これらは、I) 発熱体の外表面を金属氧化物系セラミックで被覆したものの、II) 既存のシーズヒータやコルツヒータの外表面

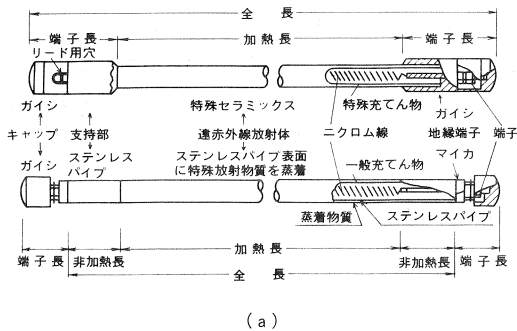


図-5 遠赤外線ヒータの構造図(a)と省エネ効率(b)

に金属氧化物系セラミックスを塗装、プラズマ溶射等で被覆したもの^{6,7)}、III) 面状のホーロ絶縁体に発熱体を埋め込んだホーロ面状発熱体などである^{8,9)}。

図-5は代表的な遠赤外線発熱体の構造断面図(a)と遠赤外線加熱による省エネ効率(b)を示す。また、図-6は各種既存の管状発熱体の外表面にプラズマ溶射法により金属氧化物系セラミックスを被覆した遠赤外線発熱体の外観図である。図-5、図-6から従来のライト系発熱体であるコルツヒータ(可視光~近赤外線中心の発熱体)にアルミナやシリカ-チタニヤ系のセラミックスをプラズマ溶射すると3~30μの遠赤外線を中心とする遠赤外線加熱発熱体となる。

図-7はホームサウナ用ホーロ面状遠赤外線発熱体の外観(a)とこの発熱体を応用した低温ホームサウ

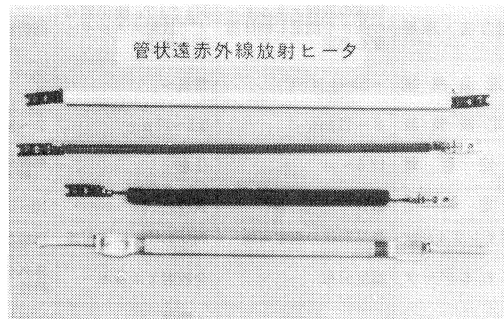


図-6 各種プラズマ溶射管状発熱体の外観図

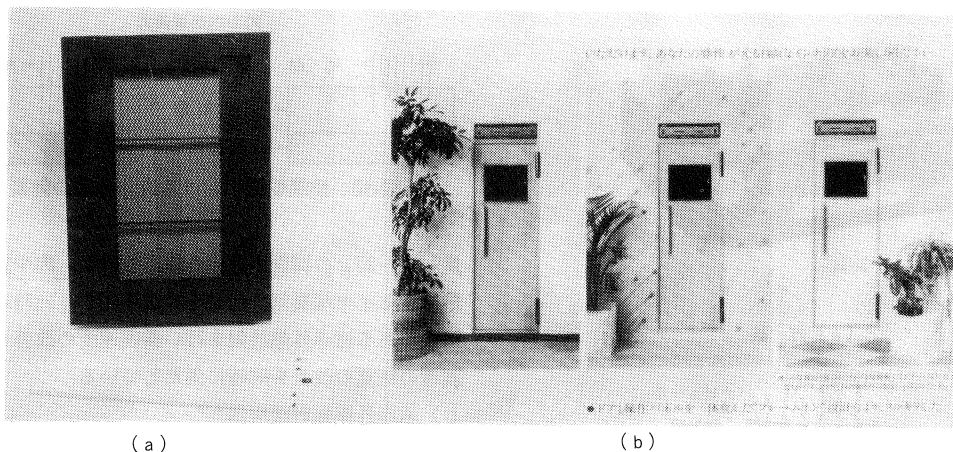


図-7 ホームサウナ用ホーロ面状遠赤外線発熱体の外観 (a) と低温ホームサウナの外観図 (b)

ナの外観写真 (b) である。従来の高温サウナ (90~100°C) に対し、50~65°Cの低温で高温サウナと同等の発汗量とサウナ効果が期待されるものである。近年のこの種の低温サウナが日欧米で好評である。

4. 遠赤外線の利用

4.1 遠赤外線利用の歴史と近年の応用状況

遠赤外線の利用はこの数年私達の身近なものとして注目されているが、遠赤外線の利用は、実はかなり歴史のあるもので、生活の知恵として古来から利用されてきたものである。具体的な例を数例紹介すると；街角で観られる甘栗、石焼芋、さらに田舎のかまどの焙烙鍋によるゴマ、アラレ、豆を焙る調理法は、岩石や素焼の焙烙鍋から放射される良質の遠赤外線を利用しているのである。また海外の例として、ボルネオ島の原住民の習慣となっている焼石による魚介類の調理や欧州での肉厚のピザ焼用レンガ製オープン等を思い浮かべると容易に理解されるのではないだろうか？しかし、この10年表4に示す如く暖房、調理、食品加工、電子部品加工、情報伝達、医療等の産業の全分野に至る工程で、遠赤外線が応用展開され、その効果と省エネ効果が認められてきた。以下に最近の数例を紹介する。

4.2 最近の応用例

a) 触媒を応用したガス・電気調理器

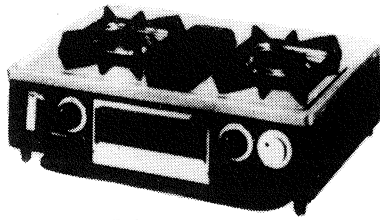
調理器の高級機種には調理器の庫内壁自己浄化型触媒 (セルフクリーニング触媒)^{10,11)}を装備したものがある。この触媒は酸化物触媒、多孔質形成剤、ホーロ質結合剤からなり調理物から飛散する油脂分を触媒作用により炎を出すことなく触媒酸化燃焼させ、水蒸気と

二酸化炭素に触媒反応させる機能を有するとともにこの自己浄化型触媒は基本的にはセラミック質からなっているため良質の遠赤外線を放射し、焼物調理を効果的に進行させ、省エネ効果も発揮している。

また、図-8は触媒浄化機能と遠赤外線機能を兼ねたガステーブルの外観図 (a) と構造断面図 (b) である^{9,11)}。この調理器に用いられる触媒はアルミン酸石灰、シリカ、チタニアからなり、都市ガスのベンゼンバーナの青火熱源では魚が焼けず、触媒体で波長変

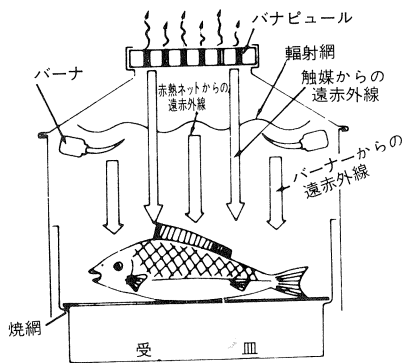
表4 遠赤外線の応用分野の一覧

遠赤外線の作用効果	内 容	適用放射源
加 熱	電热器、オーブントースター、陶磁器の焼成、単結晶成長、ガラスの溶融、ガラスの徐冷	
乾 燥	赤外線乾燥(のり、塗料、木材など)	赤外線電球
印刷塗装	印刷・塗装・厚膜印刷などの乾燥・焼成	赤外・遠赤外線発熱体
暖 房	こたつ・ストーブ	赤外線電球
保 温	ふろ器、育すう箱、食品の保温 (ローストチキンなど)	赤外線電球、シーズヒーター
調 理	パン・ケーキの製作、くんせい製品、発酵の促進	赤外線電球
熟成・醸造	ビール、ワイン、果実酒、酒などの熟成・醸造	赤外・遠赤外線発熱体
脱 色	てんぐさのさらし	赤外線電球
殺 菌	菓草、茶、煙草、厨房	マイクロ波、遠赤外線、放射線などの菌
食 品 加 工	あられ、ごま、甘栗、のり、バームクーヘン	遠赤外線発熱体
化 学 作 用	樹脂の重合促進、赤外線写真	赤外線ランプ、赤外線電球
複 写	感熱式複写、トナーの定着	赤外線電球、キセノンフラッシュランプ
医 療	血液の循環、汗の分泌促進、レーザーメス、ハイパーサーミア	赤外線電球、COレーザー
検 知	火災報知、防犯	電球、レーザ
情 報 伝 達	赤外線通信、赤外線カメラ、ノクトビジョン	電球、レーザ
測 量 ・ 分 析	温度測定、赤外分光分析	抵抗発熱体、サーモピュア



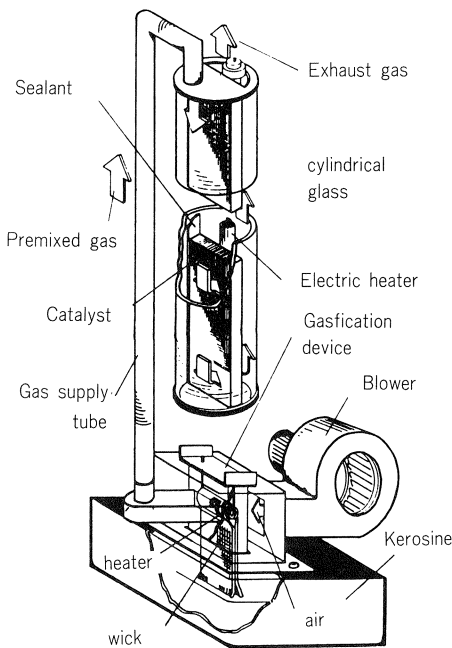
T-3H1L

(a) 外観



(b) 構造

図-8 触媒浄化機能兼遠赤外線放射ガステーブルの外観と構造断面図



Schematic configuration of domestic catalytic combustor

図-9 遠赤外線放射触媒燃焼器の構造断面図

熱の内部浸透力

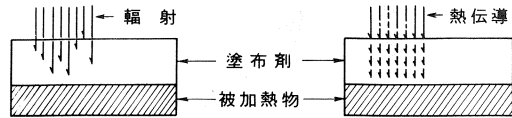


図-10 塗膜乾燥における遠赤外線の効果

換し 3~25 μ の調理用遠赤外線を放射し、肉や魚から飛散するイヤな臭気、油煙を触媒浄化し、同時に熱浸透性のある遠赤外熱放射を行い調理速度の改善と焼物調理の味覚の改善を同時に果たしている。

b) 遠赤外線放射暖房器^{13,14)}

図-9 は遠赤外線放射型触媒燃焼器の構造断面図である。従来のポータブル石油ストーブの放射率が20~25%であるに対し図-9 のような構造の石油触媒燃焼器は50~70%の放射率を有する。ガラス筒の材質やガラスの表面処理材料の選択により任意の遠赤外線放射暖房と触媒燃焼による低NO_xの超クリーン暖房が可能となる。

c) 乾燥・焼成への遠赤外線への応用

図-10は塗膜乾燥における遠赤外線効果を示す。伝導、対流による熱では塗膜層への熱の効率的な浸透は期待できないが、遠赤外線が放射伝熱による塗膜層への共鳴吸収による熱浸透性を有することから、塗膜の乾燥、焼成には遠赤外線が効果的である。産業の各分野の応用例として、遠赤外線ランプや遠赤外線発熱体を熱源として用い、家電製品、自動車等の塗膜の乾燥焼成に应用され、また、ホーロ、セラミック製品、エレクトロニクス用厚膜回路、紙製品等の加熱、乾燥工程等に应用され、乾燥工程の短縮化、省エネ効果、塗膜面の艶、膜強度、電気抵抗等への品質向上効果が認められている。

5. 遠赤外線の開発動向と将来展望¹⁵⁾

遠赤外線は目に観えないだけでなく、近赤外線のように単位時間当りのエネルギーの伝熱輸送量が相対的に小であるため速効性がないことと、これまで適当なセンサ、測定装置がなかったこと等が原因で余り知られていなかった。

しかし、生活が豊かになり、物資の品質等に、風合、香り、味覚等の高級感を嗜む時代となり商品を最終的に総合特性として仕上げる段階で微妙な出来ばえと品位を与えるものとしての遠赤外線が薬味や触媒のような作用をして、その威力を発揮することになる。遠赤外線は加熱、乾燥、焼成だけでなく、殺菌、熟成、醸

造さらには医療, 情報伝達, 計測, 兵器等と無限の応用展開が期待されている。

6. おわりに

果実の追熟度, 醸造期間, チーズやブドウ酒の味, 香り, 渋味, 苦味, 風味等は微妙に遠赤外線が作用すると言われる。太陽に恵まれない北欧の人々が遠赤外線発熱体を用いたホームサウナの作用効果を, 地中海の砂浜から受ける太陽の二次輻射に近づけようと努力している。一方, 太陽に恵まれている我々も短時間のジョギングでは得られなかった心身のリフレッシュ感をゴルフや登山の野外活動で体験している。これらは野山の大地からくる豊かな遠赤外線の長時間照射による人体への作用効果とされているが, 速効性のない遠赤外線の効果の証明にはなお時間を要する。しかし, 今後センサ測定装置等の計測法の発展と励起化学, 量子化学, 心理学, 医学等の関連学問の進歩により, このような課題も着実に解き明かされ, 近い将来, 遠赤外線が人類にとって重要なエネルギーの一つであることが解明されるものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 日本ファインセラミックス協会, 遠赤外線セラミックス調査研究 6月(1989).
- 2) 足立鉄男; 九電総研研究報告, No. 77007, 9月24日(1980).
- 3) 阿部利一, 芳賀幸明; 塗装と塗料 (271) P55~62 (1976).
- 4) 日本遠赤外線協会, 遠赤外線, No. 3~No. 7 3, 15(1987)~7, 15(1988).
- 5) 石井泰造, 食品と開発 P28, Vol. 20 No. 8, (1985).
- 6) 三友明夫(日立熱器具) 特開昭59-23428.
- 7) 鈴木忠視他(松下電器) 特開昭54-125553.
- 8) 西野 敦他(松下電器) 特開昭58-25592.
- 9) 西野 敦他(松下電器) 特開昭59-130082.
- 10) 西野 敦, 触媒, P7, Vol26, No. 1 (1984).
- 11) 西野, 曾根高, 木村, 池田, National Tech. Rep 25, 908 (1979), 29, 27 (1983).
- 12) 西野, 曾根高, 木村, 池田, National Tech. Rep 25, 921 (1979), 29, 42 (1983).
- 13) 鈴木, 保坂, 川崎, 西野, 燃協誌 67, 117 (1988).
- 14) 川崎, 鈴木, 保坂, 西野 Chemistry Express 3 391 (1988).
- 15) 西野 敦 "M & E" P126, Vol16 (1) (1989).

