金網積層体の圧力損失及び伝熱特性に及ぼす積層方法の影響*

濱口和洋^{*1}, 真柄洋平^{*2}, 山下 巖^{*3}

Effects of Stacking Method on Pressure Loss and Heat Transfer Characteristics in Stacked Wire Gauze

Kazuhiro HAMAGUCHI^{*4}, Yohei MAGARA and Iwao YAMASHITA^{**1} Department of Mechanical Engineering, Meisei University,
2-1-1 Hodokubo, Hino-shi, Tokyo, 191-8506 Japan

The regenerator is the regenerative heat exchanger that greatly influences the performance of the Stirling cycle machines. The stacked wire gauze of which a balance of flow loss and heat transfer characteristics is good, is often utilized for this regenerator matrix. The stacking method of the wire gauze is a method for perpendicularly stacking for the flow of the working gas. Therefore, the basic characteristics of stacked wire gauze reported, was only perpendicular stacked wire gauze. However, the method stacking parallel to the flow of the working gas is also considered. In this study, in order to grasp the basic characteristics of parallel stacked wire gauze, the effect of the stacking method on basic characteristics is examined experimentally. So, on pressure loss, the superiority of the parallel stack wire gauze has been confirmed. On heat transfer characteristic, the superiority of the perpendicular stack wire gauze has been done. The overall characteristic of the stacked wire gauze of two kinds is compared.

Key Words: Heat Exchanger, Stirling Engine, Stacked Wire Gauze, Stacking Method, Porosity, Friction Factor, Nusselt Number

1. 結 言

金網積層体は、蓄熱再生サイクルを形成するスターリングサイクル機器等の再生器や蓄冷器あるいは熱音響自励振動発生装置のスタックと呼ばれる蓄熱再生熱交換器用蓄熱材料としてよく用いられる。この材料は、圧力損失と伝熱性能のバランスが良いとされ、金網は作動ガスの流れに垂直に積層する垂直積層体が採用されている。したがって、今までに報告されている金網積層体の基本特性に関する研究成果は垂直積層体に関するものしか見当たらない^{1) 2)}。しかし、金網の垂直積層体はその取扱性に難点があり、コストの上昇を伴う。この解決には、金網をロール状に丸めて利用する方策も考えられ、これにより取扱性は向上し、コストの低減につながる。この場合の積層体は、金網を作動ガスの流れに沿うように積層する平行積層体に相当する。

本研究では、金網の平行積層体を蓄熱材料として

利用する場合の設計指針を与える目的にて、金網の積層方向並びに空隙率が圧力損失並びに伝熱特性に及ぼす影響を実験的に調べ、あわせて、両者のバランス特性から平行積層体の蓄熱材としての可能性を検討する。

2. 供試金網と積層方法

本実験に使用した金網は、10, 20, 50, 100 メッシュのステンレス鋼 (SUS304) 製平織り金網である。使用金網の形状寸法を表 1 に示す。

各メッシュ数を有する金網の形状寸法は、金網の素線径 d_m と、一目の目開き l として金網の厚さ $2d_m$ により算出される。作動ガスが金網の一目を通る場合の投影面積比である開口比 β は圧力損失、金網 1 枚の単位体積当たりの伝熱表面積を表す比表面積 σ は伝熱性能に大きく影響する。供試金網は、メッシュ数の増加に伴い開口比 β が減少し圧力損失を増加させるが、比表面積 σ も増加し伝熱性能を増加させることを示す。

Table 1 Specification of stacked wire gauze

Mesh No.	Wire diameter d_m (mm)	Min. screen opening l (mm)	Opening area ratio β	Specific surface area σ (mm ² /mm ³)
10	0.508	2.032	0.640	1.138
20	0.304	0.966	0.578	2.248
50	0.193	0.315	0.385	5.441
100	0.101	0.153	0.363	10.851

* 原稿受付 2003 年 8 月 18 日。

^{*1} 正員、明星大学理工学部 (〒191-8506 日野市程久保 2-1-1)。^{*2} 正員、マイクロ技研(株) (〒358-0032 入間市狭山ヶ原字桜木 250)。^{*3} 正員、東京電機大学工学部 (〒101-8457 東京都千代田区神田錦町 2-2)。

E-mail: hamaguch@me.meisei-u.ac.jp

Fig. 1 Stacking method of wire gauze

Table 2 Porosity of stacked wire gauze

Mesh No.	Porosity
10	0.840~0.886
20	0.803~0.882
50	0.705~0.816
100	0.646~0.877

金網積層方法は、図1に示す垂直積層と平行積層の2種類が考えられる。図1(a)の垂直積層は作動ガスの流れ方向に対し垂直に積層する通常の積層方法、そして図1(b)の平行積層は流れに平行に積層する方法である。

空隙率は、金網積層体を挿入するマトリックスハウジング寸法内で人為的に積層可能な圧縮限界から自由な積層状態が流れに影響されない自由限界の範囲で選んだ。表2には、本研究にて設定した各金網積層体の空隙率範囲を示す。同表によると、メッシュ数が大きくなるにつれて広い空隙率範囲の採れることが分かる。

本研究で使用したマトリックスハウジング寸法は□50×50mmの立方体である。したがって、空隙率などの幾何学的な形状を同じとした金網積層体を用いて垂直積層と平行積層の影響を検討することが可能になる。

3. 圧力損失

3.1 実験装置と実験方法 実験装置の概要を図2に示す。マトリックスハウジング部はアクリル製の正方形断面(□50mm)を有し、その長さは50mmの立方体である。また、マトリックスハウジング前後の流路も正方形断面(□50mm)を有しており、その長さはそれぞれ500mmである。作動ガスには大気圧空気を用い、それをブロアによって吸入することでエアフィルタ、浮子式流量計を介してマトリックスに一定流量の定常流れを発生させる。流量 Q はブロアモータのインバータ制御及びリザーバタンクとブロア間に設置された流量調整弁により調整し、 $Q=0.1 \times 10^{-3} \sim 23.3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲で変化させた。圧力損失 ΔP は、マトリックス前後の静圧差

をU字管マノメータ及びベッツ型マノメータにより測定した。

3.2 実験結果 金網積層方法が圧力損失と流量との関係に及ぼす影響の一例を図3に示す。同図は、100メッシュ金網積層体の積層枚数すなわち空隙率そして積層方法の圧力損失への影響を示している。図中の記号〔①-②③④〕は、金網積層体の①メッシュ数、②積層枚数、③積層方法(V:垂直, P:平行)そして④空隙率を表す。すなわち、100-170V(0.809)は、100メッシュ金網を作動ガスの流れに対して垂直方向に170枚積層した垂直積層体(空隙率0.809)を示す。これに対して、100-170P(0.809)は前述の100-170V(0.809)と同じメッシュ数と積層枚数そして空隙率を有するが、作動ガスの流れに平行方向に積層された平行積層体を示す。同図によると、圧力損失は空隙率の減少につれて両積層体とも増加している。しかし、空隙率の大きい範囲では同一の空隙率において垂直積層体より平行積層体の方が小さい。また、空隙率の増加に伴い両積層体の差異は小さくなり、空隙率の最も小さい範囲ではほぼ同じ圧力損失を示す。

Fig. 2 Experimental apparatus

Fig. 3 Effects of stacking method on pressure drop

図4(a)～(d)に、10, 20, 50, 100 メッシュの各金網積層体における流量 Q と圧力損失 ΔP の関係をレイノルズ数 Re_i と摩擦係数 f に換算して示す。

レイノルズ数 Re_i は次式で定義する。ただし、水力相当直径には、積層金網中の流れは網目が支配的と考え、目開きを用いる。

$$Re_i = \frac{l \cdot u}{\nu} \quad (1)$$

ここで、 ν は作動ガス（空気）の動粘度を表す。 u は作動ガスが金網の網目を流れると仮定した場合の流速であり、マトリックス全断面での流速 u_0 を供試金網の開口比 β で除した次式により求める。

$$u = \frac{u_0}{\beta} \quad (2)$$

摩擦係数 f は、金網積層体の圧力損失が概ね積層数に比例するとの報告³⁾があるので、金網積層体の圧力損失 ΔP を積層数 n で除した金網1枚あたりの圧力損失を動圧で除した次式で定義する。

$$f = \frac{\Delta P}{n} \cdot \frac{1}{\frac{1}{2} \cdot \rho_f \cdot u^2} \quad (3)$$

ここで、 ρ_f は作動ガス（空気）の密度である。

図4には、密着積層した垂直積層体に係る実験データとして定常流試験により得られた濱口らの実験式³⁾を実線で示す。同図によると、空隙率の摩擦係数への影響は、垂直積層体ではそれ程でもないが平行積層体では大きい。その影響は空隙率範囲の大きく取れるメッシュ数の金網ほど顕著に現れている。

以上の結果から、積層方法による圧力損失への影響は空隙率に大きく依存していると考えられる。そこで、20, 50, 100 の各メッシュ数の金網積層体について空隙率毎に得られた実験結果より摩擦係数とレイノルズ数との実験式を作成し、レイノルズ数を一定とした場合 ($Re_f=50$) の空隙率と摩擦係数の関係に再整理した結果を図5に示す。表3には、100 メッシュ金網積層体の摩擦係数に係る実験式に及ぼす積層方法並びに空隙率の影響を示す。図5並びに表3によると、空隙率の低下につれて摩擦係数は大きくなるが、垂直積層体と平行積層体では、その増加割合の異なることが分かる。すなわち、垂直積層体の摩擦係数は空隙率にそれ程依存しないが、平行積層体では空隙率の減少に伴い大きく増加している。また、両積層体の摩擦係数は空隙率の減少に伴い互いに近づいており、100 メッシュ金網の場合、空隙

(a) 10 mesh

(b) 20 mesh

(c) 50 mesh

(d) 100 mesh

Fig. 4 Effects of stacking method on friction factor

Table 3 Effects of porosity and stacking method on empirical equation for friction factor

Porosity	0.787		0.697		0.646	
$f=A/Re+B$	A	B	A	B	A	B
Vertical stack	50	0.42	56	0.40	70	0.34
Parallel stack	9.0	0.08	48	0.16	71	0.42

Fig. 5 Effects of porosity on friction factor

率 0.646 の積層状態では両積層体の摩擦係数はほぼ同じになることが確認できる。

垂直積層体の摩擦係数が空隙率にそれ程依存しない理由は、作動ガスが必ず金網 1 枚 1 枚を順々に通過するため、積層枚数に比例する形で圧力損失も増加することによる。一方、平行積層体の摩擦係数が空隙率の減少に伴い急激に増加する理由は、作動ガスが通過する流路は流れに平行な金網積層間の流路と、流れに垂直な金網の網目を通る流路が存在し、積層枚数の少ない、すなわち空隙率の大きい場合には作動ガスが主に隣り合う金網の間の流路を素通りするのに対して、積層枚数が多いすなわち空隙率が小さくなると隣り合う金網の間を素通りできずに主に網目を通る流れになることを示している。

4. 伝 熱 性 能

4.1 実験装置と実験方法 本実験で使用する金網は、前章より確認できた広範囲な空隙率 (0.646~0.877) が設定できる 100 メッシュ金網を選出した。設定した各金網積層体の伝熱性能に関与する形状寸法を表 4 に示す。

設定された金網積層体の伝熱性能は平均熱伝達率

Table 4 Heat transfer area and total weight of 100 mesh wire gauze

Porosity	0.877	0.832	0.787	0.742	0.697	0.646
Number of gauze	110	150	190	230	270	315
Heat transfer area $S(m^2)$	0.603	0.822	1.041	1.260	1.480	1.726
Total weight $M(g)$	122.3	166.8	211.3	255.8	300.2	350.3

Fig. 6 Heating and cooling method in matrix

により評価する。その評価にあたり、一様に加熱した金網積層体 (マトリックス) を室温空気で冷却し、マトリックス出口直後の作動空気温度を計測する冷却法を用いた。マトリックスの加熱冷却は図 2 のマトリックスハウジング部に装着した図 6 の装置により行う。

実験において、マトリックスは予め加熱しておく必要がある。そのため、可動部が図 6 に示す位置に固定され、上方より流入する室温空気がヒータを備えた加熱用流路を通ることにより、室温より約 10℃ の温度上昇を得た後、マトリックスに流入する。その際、マトリックス前後の作動空気温度が K 形熱電対 (素線径 $\phi 0.076mm$) により計測され、マトリックスが一樣温度場に加熱されていることを確認する。その後、可動部を右側へ瞬時に移動させ、低温の室温空気をマトリックスに流入させる。その結果、得られる作動空気のマトリックス出口温度挙動を計測する。また、流量 Q は $1.7 \times 10^{-3} \sim 8.3 \times 10^{-3} m^3/s$ の範囲で変化させる。可動部の移動によりマトリックス直前での流入空気が加熱された高温空気から室温空気への切り替わる時間は作動空気の流速により変わり、おおそ 0.3~0.6 秒である。

4.2 実験値の整理法 実験により得られたマトリックス出口での作動空気温度挙動 T_f は、以下に定義した無次元時間 t_n と無次元温度 T_n を用いて整理する。

$$t_n = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot t}{M \cdot c_m} \quad (4)$$

$$T_n = \frac{T_f - T_{fc}}{T_h - T_{fc}} \quad (5)$$

ここで、 $\dot{m}$ は質量流量、 c_p は作動ガスの定圧比熱、 t は経過時間、 M はマトリックスの質量、 c_m はマト

リックスの比熱、 T_f は作動ガス温度、 T_h は作動ガス最高温度、 T_c は作動ガス最低温度を表す。

式(4)と式(5)を用いて作動空気温度挙動を無次元化した後、無次元時間と無次元温度の関係にまとめ、これを理論値と比較することで伝熱性能の評価を行う。作動ガスの温度挙動に係る理論解は、マトリックスと作動流体間のエネルギーバランス式から求められた式(6)⁽⁴⁾を用いた。

$$T_m = 1 - \exp^{-(\xi + \eta)} \cdot I_0(2\sqrt{\xi \cdot \eta}) - \int_0^\eta \exp^{-(\xi + \eta)} \cdot I_0(2\sqrt{\xi \cdot z}) dz \quad (6)$$

ここで、 $I_0(y)$ は第0次第1種の修正ベッセル関数、 ξ と η はそれぞれ次に示す無次元数である。

$$\eta = \frac{\alpha_m \cdot S \cdot t}{M \cdot c_m} = \frac{Ntu}{Cr} \quad (7)$$

$$\xi = \frac{\alpha_m \cdot S \cdot x}{\dot{m} \cdot c_p \cdot lr} = Ntu \cdot X \quad (8)$$

ただし、 S はマトリックスの伝熱面積、ユニット数 Ntu 、熱容量比 Cr 、無次元長さ X そして質量流量 $\dot{m}$ は次式で定義される。

$$Ntu = \frac{\alpha_m \cdot S}{\dot{m} \cdot c_p}, \quad Cr = \frac{M \cdot c_m}{\dot{m} \cdot c_p \cdot t}$$

$$X = \frac{x}{lr}, \quad \dot{m} = A \cdot u_0 \cdot \rho_f$$

ここで、 α_m は平均熱伝達率、 lr はマトリックス長さ、 A は流路断面積、 u_0 はマトリックス前の平均流速、 ρ_f は作動ガス(空気)密度を表す。

図7には、マトリックス出口における理論的作動空気温度挙動が式(6)を用いて $\xi_{x=1} = Ntu$ をパラメータとした無次元時間 $t_n = (\eta / \xi)_{x=1}$ と無次元温度 T_n との関係により算出されている。

図8(a)、(b)には、実験値と理論値のフィッティング例として、100メッシュ金網270枚を垂直並びに平行積層し、流量 $Q = 1.7 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ ($u_0 = 0.67 \text{ m/s}$, $Re_d = 10$)の実験により得られた空気温度挙動と理論ユニット数 Ntu との関係を示す。図8(a)に示す垂直積層体の実験結果はユニット数220、そして図8(b)に示す平行積層体の実験結果はユニット数20の理論値とよく一致する。したがって、これらの実験結果に対して $Ntu = 220$ と20を得、垂直積層体の伝熱性能が平行積層体より優れることが分かる。このように、実験値と理論値の空気温度挙動を比較することにより、空気温度挙動とユニット数 Ntu との関係、すなわち平均熱伝達率 α_m の評価ができる。フィッティングにより得られた Ntu は次式を用いて、平均熱伝達率 α_m に換算する。 n は金網の積層枚数

Fig. 7 Theoretical non-dimensional temperature behavior

(a) Vertical stack

(b) Parallel stack

Fig. 8 Examples for fitting experimental values into theoretical values

を表す。

$$\alpha_m = \frac{Ntu \cdot \dot{m} \cdot c_p}{S} = \frac{Ntu \cdot u_0 \cdot A \cdot c_p}{2d_m \cdot n \cdot \sigma} \quad (9)$$

得られた平均熱伝達率 α_m は、ヌセルト数 Nu_d に換算し、レイノルズ数 Re_d との関係で表す。定義したレイノルズ数とヌセルト数を次に示す。ただし、水力相当直径には、積層金網中の蓄熱部は素線内であることから、線径 d_m を用いる。

$$Re_d = \frac{d_m \cdot u}{\nu} \quad (10)$$

$$Nu_d = \frac{d_m \cdot \alpha_m}{\lambda_f} \quad (11)$$

ここで、 ν と λ_f は作動ガス（空気）の動粘度と熱伝導率を表す。

4.3 実験結果 実験により得られた無次元空気温度挙動は、ユニット数 Nu そして式(9)より平均熱伝達率 α_m に換算できる。平均熱伝達率と流量との関係を図9に示す。図10には、平均熱伝達率をヌセルト数に換算し、レイノルズ数との関係で示す。同図には密着積層した垂直積層体に係る実験データとして濱口の実験式⁴⁾を実線で示す。図9と図10における記号〔①②③〕は、①積層枚数、②積層方法（V：垂直、P：平行）そして③空隙率を表記している。図11には同じレイノルズ数における空隙率と積層方法がヌセルト数に及ぼす影響を示す。同図の記号〔①、②〕は①積層方法（V：垂直、P：平行）、②レイノルズ数を表す。

図9より、平均熱伝達率は、すべての流量範囲で垂直積層体が平行積層体を上回ることが分かる。垂直積層体の場合、熱伝達率は空隙率の大小により流量依存性が異なる。大きい空隙率の場合には、熱伝達率が流量の増加につれ直線的に増加している。一方、小さい空隙率の場合には、熱伝達率は流量の少ない範囲では低いが、流量の増加につれて増加する割合が大きい。これに対し、平行積層体の場合、熱伝達率は空隙率とは無関係に流量に依存して増加している。

図10によると、垂直積層体のヌセルト数は平行積層体を大きく上回り、本実験範囲では垂直積層体の伝熱性能の優位性が確認できる。また、垂直積層体の実験結果は概ね濱口の実験式とよく一致し、積層枚数すなわち空隙率の影響はそれほど見られない。平行積層体のヌセルト数は積層枚数の増加すなわち空隙率の減少に依存しているが、最も空隙率の小さい積層枚数315のみ異なった傾向を示し、積層枚数270（空隙率0.697）より幾分小さい。これは、空隙率の減少により、隣り合う金網の密着度が増し、伝熱に関与する伝熱面積が減少するとともに作動ガスの流れが幾分阻害されたことに起因すると思われる。両積層体のヌセルト数は概ねレイノルズ数に依存するが、垂直積層体よりも平行積層体の方がその依存性が高い。積層方法のヌセルト数への影響を比較するため、各積層体のヌセルト数に係る実験式を表5に示す。図10より、垂直積層体の実験式は、概ね濱口の実験式（ $Nu_d = 0.42 Re_d^{0.56}$ ）が適用できることが分かったが、空隙率の小さい積層体ではレイノルズ

Fig. 9 Effects of stacking method on heat transfer coefficient

Fig. 10 Effects of stacking method on Nusselt number

Table 5 Effects of porosity and stacking method on empirical equation for Nusselt number

Porosity	0.787		0.697		0.646	
$Nu_d = C Re_d^D$	C	D	C	D	C	D
Vertical stack	0.47	0.57	0.10	0.98	0.048	1.2
Parallel stack	0.01	0.99	0.0038	1.4	0.00085	1.8

Fig. 11 Effects of porosity on Nusselt number

数の小さい範囲で幾分違いが見られるので、表5には空隙率ごとの実験式を示す。これらの実験式を比較すると、さらなるレイノルズ数の増加により、平行積層体の伝熱性能が垂直積層体に近づく可能性が見受けられる。

図11より、垂直積層体のヌセルト数はレイノルズ数の最も低い $Re_f=10$ 以外では、空隙率依存性はあまり現れず、同じレイノルズ数であればほぼ同じになることが分かる。一方、平行積層体では、空隙率の減少に伴い概ねヌセルト数の増加傾向が見られ、そのレイノルズ数依存性も高い。以上の結果、垂直積層体のヌセルト数は空隙率にそれ程依存しないが、平行積層体では空隙率の影響の大きいことが分かった。

このように、本実験範囲では、伝熱性能は垂直積層体が平行積層体を上回った。これは、垂直積層体の場合では作動ガスが必ず金網1枚1枚を通過し、作動ガスと金網素線表面との間での伝熱が必ず生じるのに対し、空隙率の大きい平行積層体の場合では作動ガスが積層金網間の隙間を素通りするため、作動ガスと金網素線との間での伝熱が阻害されることを示している。

5. バランス特性

金網積層方法が圧力損失並びに伝熱性能に及ぼす影響は、図4並びに図10より次のように判断できる。垂直積層体の場合、圧力損失は大きい伝熱性能に優れる。平行積層体の場合、圧力損失は小さいが伝熱性能は劣る。また、空隙率0.646では平行積層体と垂直積層体の圧力損失はほぼ同じであり、伝熱性能は垂直積層体が優れることから、この空隙率では明らかに垂直積層体が適していることが分かる。しかし、空隙率の大きい範囲では、マトリックス材に金網の垂直積層体と平行積層体のどちらが適しているかの判断が困難である。そこで、両積層体の圧力損失と伝熱性能のバランスを簡易的な方法により比較する。

その比較にあたり、圧力損失並びに伝熱性能を整理した際の摩擦係数 f とヌセルト数 Nu_d は、同一のレイノルズ数 Re_h になるよう、式(12)と式(13)で定義された摩擦係数 f_h とヌセルト数 Nu_h に換算し⁶⁾、両者の比 f_h/Nu_h を用いて比較した。

$$f_h = \frac{d_h \cdot \Delta P}{l r} \quad (12)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho_f \cdot u^2$$

$$Nu_h = \frac{d_h \cdot \alpha_m}{\lambda_f} \quad (13)$$

$$Re_h = \frac{d_h \cdot u}{\nu} \quad (14)$$

式(12)、式(14)中の流速 u 並びに水力相当直径 d_h は次式により定義される。

$$u = \frac{u_0}{\phi} \quad (15)$$

$$d_h = \frac{4\phi \cdot d_m}{\varepsilon(1-\phi)} \quad (16)$$

ここで、 ϕ は空隙率、 ε は形状係数であり金網積層体を構成する細線を円柱と見なし4.0とする⁶⁾。

図12にレイノルズ数 Re_h を一定とした場合の f_h/Nu_h 値に及ぼす空隙率の影響を示す。 f_h/Nu_h 値は伝熱性能に対する圧力損失性能のバランス特性を示し、低い圧力損失そして高い伝熱性能が期待されるマトリックス材においては低い値が良い。同図によると、レイノルズ数 $Re_h=30$ の場合、 f_h/Nu_h 値は垂直積層体に比べ平行積層体の方が大きく、平行積層体は伝熱性能に対して圧力損失の大きいことが分かる。また、空隙率の減少に伴い垂直積層体の f_h/Nu_h 値は減少し、圧力損失と伝熱性能のバランスが良い。しかし、平行積層体の f_h/Nu_h 値は空隙率の減少につれて急激に大きくなり、バランスの悪化が顕著である。また、 $Re_h=50$ の場合、両積層体ともに f_h/Nu_h 値は減少し、バランスが良い。この傾向は、平行積層体に顕著に現れている。 $Re_h=100$ の場合、両積層体の f_h/Nu_h 値はほぼ同じになる。これは、レイノルズ数の増加につれて圧力損失では平行積層体そして伝熱性能では垂直積層体が良い性能を有することを示す。以上より、レイノルズ数の増加につれ、両積層体ともバランス特性が向上する。また、平行積層体はレイノルズ数増加に伴うバランス特性向上効

Fig. 12 Effects of stacking method and porosity on balance values of two characteristics

果の大きいことが分かる。さらに、垂直積層体は空隙率の減少に伴いバランス特性の向上が見られるが、それほどの改善は見られない。一方、平行積層体は空隙率の減少に伴うバランス特性の悪化傾向が見られ、特にレイノルズ数の小さい範囲でその影響が顕著に現れている。すなわち、レイノルズ数の小さい範囲では圧力損失の影響が大きく、レイノルズ数の増加に伴い伝熱性能が大きく影響すると言える。

6. 結 言

金網積層体の圧力損失並びに伝熱性能に及ぼす積層方法の影響を実験的に調べ、次の成果が得られた。

- (1) 摩擦係数は、垂直積層体が平行積層体より大きい。両積層体ともレイノルズ数依存性には違いない。また、垂直積層体が空隙率にそれほど依存しないのに対し、平行積層体では空隙率の減少に伴い大きく増加し、最小空隙率では両積層体は一致する。
- (2) ヌセルト数は、垂直積層体が平行積層体より大きい。平行積層体のレイノルズ数依存性は垂直積層体より大きい。また、垂直積層体は空隙率にそれほど依存性しないのに対して、平行積層体は、空隙率の減少に伴い増加する。
- (3) 圧力損失と伝熱性能のバランス特性は、垂直積層体が空隙率の減少に伴い向上する。一方、

平行積層体は空隙率の減少に伴い悪化し、レイノルズ数の低い範囲でその影響が顕著に現れる。しかし、レイノルズ数の増加につれて両積層体の差は減少する。これは、平行積層体が、レイノルズ数 100 以上で運転される熱音響機器、極低温冷凍機そしてスターリングエンジンでの利用可能性を示すものと考えられる。

文 献

- (1) 山下巖・ほか4名，スターリングエンジンの理論と設計，(1999)，山海堂，119-140.
- (2) Ackermann, R. A., Cryogenic Regenerative Heat Exchangers, (1997), Plenum Press, 48-53.
- (3) 浜口和洋・ほか2名，再生器マトリックスの流動損失(積層金網の場合)，機論，48-435, B(1982), 2207-2216.
- (4) 浜口和洋・ほか2名，再生器マトリックスの伝熱性能(積層金網の場合)，機論，49-445, B(1983), 2001-2010.
- (5) 田中誠・ほか2名，往復流れ場に置かれたスターリングエンジン用再生器材料の流動および伝熱特性，機論，55-516, B(1989), 2478-2485.