

金属の V 字みぞ粗面, 円弧みぞ粗面および ランダム粗面の指向ふく射率 (第 2 報)*

— 第 1 近似値と第 2 近似値の比較 —

金山 公夫**

馬場 弘**

(昭和 46 年 9 月 30 日受理)

Apparent Directional Emittances of V-Groove, Circular Arc Groove and Random Rough Surfaces of Metals (Part 2)

— Comparison between 1st Approximate and 2nd Approximate —

by Kimio KANAYAMA and Hiromu BABA

The exact formula, which is developed by Fresnel from the electromagnetic theory to explain the emissive characteristics of some metallic flat surfaces, is a complicated expression and it is a difficult problem to analyze the apparent directional emittance of metallic random rough surfaces by applying directly the exact formula to these surfaces.

In this report, therefore, two approximate formulas of the directional emissivity introduced by Schmidt and others from Fresnel's formula, one simple formula used already in the published papers and the other a more complicated formula, are adopted to analyze the apparent directional emittances of the V-groove rough surface, the circular arc groove rough surface and the random rough surface of metals. The calculated values from both formulas are compared with each other and are shown in the graphic expressions.

1. ま え が き

著者の一人は、既に金属の V 字みぞ粗面^{1),2)}, 円弧みぞ粗面^{3)~5)} およびランダム粗面^{6),7)} の見かけの指向ふく射率について、Schmidt が最初に電磁理論の結果から導いた金属平面のふく射特性に関する近似式を粗面内面に適用して理論解析を行ない、その計算結果を実験結果と比較して解析方法の妥当性を明らかにした。しかし、金属平面の指向ふく射率を示す Schmidt の近似式⁸⁾ は、屈折率が小さい材料において方向角が大きい場合に誤差が大きくなり、しかも方向角=90°では指向ふく射率が無限大になるという矛盾を含んでいる。

そこで、これらの粗面の見かけの指向ふく射率をより厳密に計算するために、金属平面の

* 機械学会道支部第 15 回講演会 (昭 46. 10. 31 札幌) で発表

** 北見工業大学機械工学科

ふく射特性として電磁理論から導かれた金属平面の反射特性を示す Fresnel の式を変形して、Schmidt ら⁹⁾ によって求められた厳密式を粗面内面に適用して、これまでと同様な手法によって計算し、近似式による計算結果と比較、検討を行なった。

2. 金属平面の指向ふく射率の理論式

以下にあげる理論式および計算結果の中で用いられる主な記号および添字は、つぎのとおりである。

記 号

ρ : 反射率

α : 吸収率

ϵ : ふく射率

n : 屈折率

k : 減衰率

a, b : n および k できまる光学定数

φ : 入射光の反射角または射出角

ϕ : みぞ開口の法線から測ったふく射の射出角

θ : V 字みぞの開き角

γ : 円弧みぞの半円から測った欠円角

$\hat{\gamma}$: ランダム粗面において円弧みぞの最大分布密度を示す γ

添 字

\perp : 入射出面に直角に振動する成分

\parallel : 入射出面に平行に振動する成分

φ : φ 方向の値

ϕ : ϕ 方向の値

a : 見かけの値

金属平面に関して電磁理論から導かれた指向反射率を示す Fresnel の式¹⁰⁾ は、つぎに示すとおりである。

入射面に直角に振動する成分 $\rho_{\perp\varphi}$ は

$$\rho_{\perp\varphi} = \frac{a^2 + b^2 - 2a \cos \varphi + \cos^2 \varphi}{a^2 + b^2 + 2a \cos \varphi + \cos^2 \varphi} \quad (1)$$

入射面に平行に振動する成分 $\rho_{\parallel\varphi}$ は

$$\rho_{\parallel\varphi} = \rho_{\perp\varphi} \times \frac{a^2 + b^2 - 2a \sin \varphi \tan \varphi + \sin^2 \varphi \tan^2 \varphi}{a^2 + b^2 + 2a \sin \varphi \tan \varphi + \sin^2 \varphi \tan^2 \varphi} \quad (2)$$

ここで、 a および b は材料の光学定数で

$$2a^2 = \sqrt{(n^2 - k^2 - \sin^2 \varphi)^2 + 4n^2 k^2} + (n^2 - k^2 - \sin^2 \varphi) \quad (3)$$

$$2b^2 = \sqrt{(n^2 - k^2 - \sin^2 \varphi)^2 + 4n^2 k^2} - (n^2 - k^2 - \sin^2 \varphi) \quad (4)$$

で示される。

反射率および吸収率 (=ふく射率) に関するキルヒホッフの法則より

$$\varepsilon_{\perp \varphi} = \alpha_{\perp \varphi} = 1 - \rho_{\perp \varphi} \quad (5)$$

$$\varepsilon_{\parallel \varphi} = \alpha_{\parallel \varphi} = 1 - \rho_{\parallel \varphi} \quad (6)$$

物体表面から射出されるふく射は自然光であるから, 射出面に直角に振動する成分と平行に振動する成分の平均値となり, 指向ふく射率 ε_{φ} は

$$\varepsilon_{\varphi} = \frac{1}{2} (\varepsilon_{\perp \varphi} + \varepsilon_{\parallel \varphi}) \quad (7)$$

となる。ゆえに式(1)および(2)を式(5)および(6)に代入し, 式(7)の関係をを用い適当な変換を経て金属平面の指向ふく射率を示す厳密式が求められる。すなわち

$$\varepsilon_{\varphi} = \frac{1}{2} \left[\frac{4a \cos \varphi}{a^2 + b^2 + 2a \cos \varphi + \cos^2 \varphi} + \frac{4a \cos \varphi}{a^2 + b^2 + 2a \cos \varphi + \cos^2 \varphi} \right. \\ \left. \times \frac{a^2 + b^2 + \sin^2 \varphi}{\cos^2 \varphi (a^2 + b^2 + 2a \sin \varphi \tan \varphi + \sin^2 \varphi \tan^2 \varphi)} \right] \quad (8)$$

金属では一般に $n \gg 1$ で, この条件を式(3)および式(4)に適用すれば, 光学定数は $a = n, b = k$ となり, さらに $k = n$ と仮定してよく¹¹⁾, これらの条件を式(8)に代入して整理すると

$$\varepsilon_{\varphi} = \frac{1}{2} \left[\frac{4n \cos \varphi}{2n^2 + 2n \cos \varphi + \cos^2 \varphi} + \frac{2n^2 + 1 - \cos^2 \varphi}{2n^2 + 2n \cos \varphi + \cos^2 \varphi} \right. \\ \left. \times \frac{4n \cos \varphi}{1 + 2n \cos \varphi + 2(n^2 - 1) \cos^2 \varphi - 2n \cos^2 \varphi + \cos^4 \varphi} \right] \quad (9)$$

となる。式(9)は金属平面の指向ふく射率を示す厳密式である。

$n \gg 1$ とすれば, 式(9)において平行の振動成分をあらわす第二項は $\cos \varphi$ の 2 乗以上の項は省略され

$$\varepsilon_{\varphi} = \frac{1}{2} \left[\frac{4n \cos \varphi}{2n^2 + 2n \cos \varphi + \cos^2 \varphi} + \frac{4n \cos \varphi}{2n^2 \cos^2 \varphi + 2n \cos \varphi + 1} \right] \quad (10)$$

となる。ここで, 式(10)をかりに第 2 近似式と称する。さらに, 式(10)の各項の分母の n^2 以外の項を省略すると

$$\varepsilon_{\varphi} = \frac{1}{2} \left[\frac{2 \cos \varphi}{n} + \frac{2}{n \cos \varphi} \right] \quad (11)$$

となる。ここで, 式(11)をかりに第 1 近似式と称する。

前報^{1)~7)} までの指向ふく射率の特性式としては式(11)を用いて第 1 近似値を算出してきたが, 式(11)は式(10)および式(9)に比べて n が小さい材料で φ の大きいところで誤差が増大する。しかし, 式(10)の式(9)にたいする誤差は計算結果中の最大値をあげても $n = 15, \varphi = 75^\circ$ で 0.15% に過ぎないことから, この報告では式(10)の第 2 近似式を用いて V 字みぞ粗面の指向ふ

く射率を写像法¹²⁾によって図式計算し、円弧みぞ粗面およびランダム粗面の指向ふく射率は数値積分の手法¹³⁾を用いて近似計算し、第1近似式による計算結果と比較する。

3. 計算結果および検討

粗面内面の材料固有の指向ふく射率として式(10)を採用して、V字みぞ粗面、円弧みぞ粗面およびランダム粗面の見かけの指向ふく射率の計算を行ない、従来から用いてきた式(11)による計算結果と比較して、その数値および誤差を図表にまとめる。

3.1 V字みぞ粗面

表1は、V字みぞ粗面の見かけの指向ふく射率を $n=90, 70$ および 50 の場合について式(11)から求めた第1近似値と式(10)から求めた第2近似値および第1近似値の第2近似値にたいする誤差および誤差率を示している。また図1はこれらの計算結果を極座標にして示したものである。

表1および図1によれば、第2近似式による計算値は、全般に第1近似式による計算値よりも小さく、図示された曲線の形状は $\phi = \theta/2$ 方向およびそ

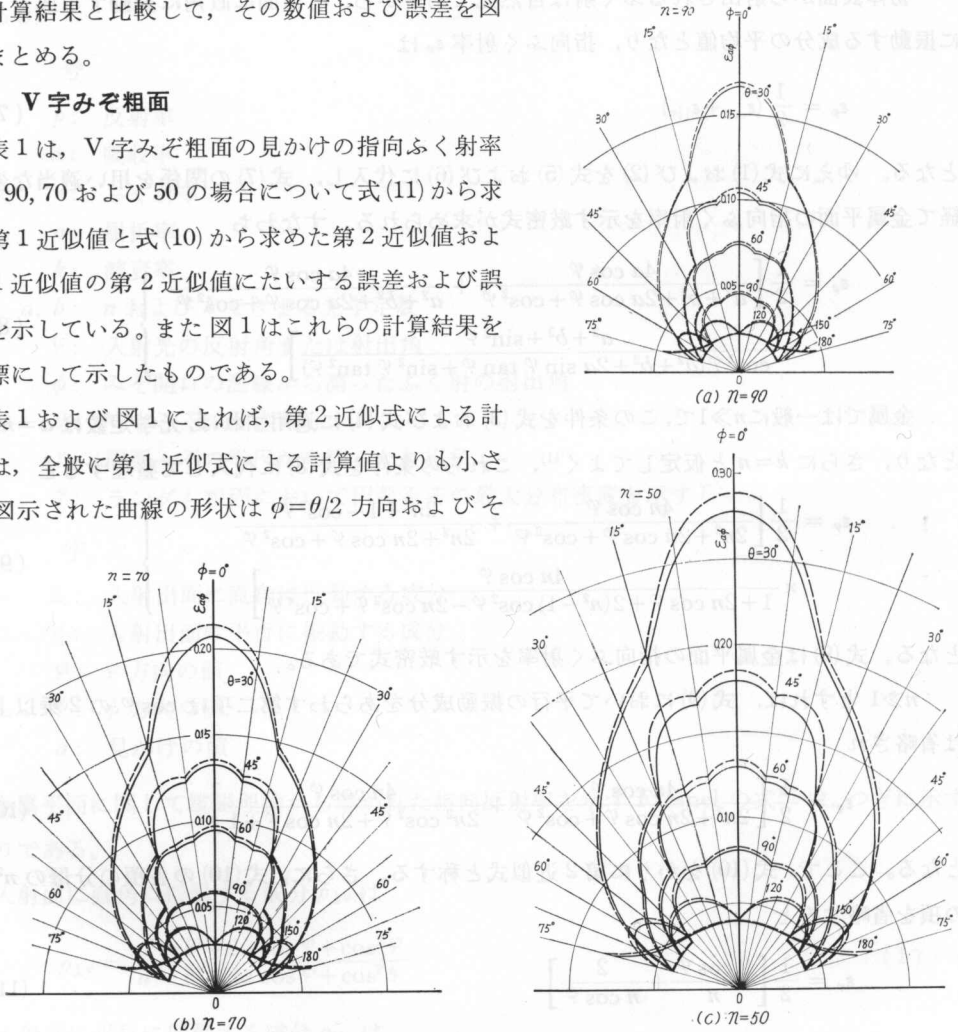


図1 金属V字みぞ粗面の見かけの指向ふく射率計算値 (破線—第1近似値, 実線—第2近似値) (a) $n=90$, (b) $n=70$, (c) $n=50$

Fig. 1. Calculated values of the apparent directional emittance on the metallic V-groove rough surface (broken line—first approximate values and solid line—second approximate values). (a) $n=90$, (b) $n=70$, (c) $n=50$

表 1 金属 V 字みぞ粗面の見かけの指向ふく射率計算値 (第 1 近似値と第 2 近似値の比較)
 Table 1. Calculated Values of the Apparent Directional Emittance on the Metallic V-Groove Rough Surface (Comparison between First Approximate Values and Second Approximate Values)

θ (deg)	ϕ (deg)	指向ふく射率		θ (deg)	ϕ (deg)	指向ふく射率		θ (deg)	ϕ (deg)	指向ふく射率	
		第 1 近似値	誤差 (%)			第 1 近似値	誤差 (%)			第 1 近似値	誤差 (%)
$n=60$											
30	0	0.16863	0.00265	0	0.21413	0.00763	0.00650	30	0	0.28558	0.27691
15	0	0.11682	0.00166	15	0.14812	0.01480	0.00332	15	0	0.20222	0.19730
30	30	0.08851	0.00746	30	0.11269	0.11070	0.00159	30	15	0.15498	0.15182
45	0	0.06564	0.00689	45	0.06385	0.08265	0.00150	45	0	0.11603	0.11375
60	0	0.04398	0.00050	60	0.05636	0.05557	0.00079	60	0	0.07845	0.07692
75	0	0.02245	0.00025	75	0.02857	0.02816	0.00041	75	0	0.04042	0.03958
$n=70$											
45	0	0.10667	0.00205	45	0.13553	0.13227	0.00326	45	0	0.18574	0.17964
15	0	0.09692	0.00313	15	0.12328	0.11827	0.00501	15	0	0.16934	0.15998
30	0	0.06178	0.00077	30	0.07896	0.07771	0.00125	30	0	0.10926	0.10697
45	0	0.04409	0.00050	45	0.05650	0.05570	0.00080	45	0	0.07864	0.07709
60	0	0.03296	0.00036	60	0.04225	0.04168	0.00057	60	0	0.05946	0.05783
75	0	0.02222	0.00025	75	0.02857	0.02816	0.00041	75	0	0.04000	0.03920
$n=80$											
60	0	0.07579	0.00124	60	0.09672	0.09472	0.00200	60	0	0.13360	0.12983
15	0	0.06872	0.00725	15	0.08776	0.08532	0.00238	15	0	0.12137	0.11688
30	0	0.04400	0.00389	30	0.05690	0.05607	0.00093	30	0	0.07920	0.07759
45	0	0.03685	0.00340	45	0.04725	0.04584	0.00071	45	0	0.06585	0.06447
60	0	0.02222	0.00197	60	0.02857	0.02816	0.00041	60	0	0.04000	0.03920
75	0	0.02224	0.00219	75	0.02859	0.02816	0.00041	75	0	0.04002	0.03923
$n=90$											
90	0	0.04658	0.00459	90	0.05969	0.05869	0.00100	90	0	0.08305	0.08114
15	0	0.04233	0.00417	15	0.05426	0.05323	0.00103	15	0	0.07560	0.07356
30	0	0.04116	0.00416	30	0.05277	0.05115	0.00168	30	0	0.07348	0.07037
45	0	0.02222	0.00197	45	0.02857	0.02816	0.00041	45	0	0.04000	0.03920
60	0	0.02224	0.00198	60	0.02859	0.02818	0.00041	60	0	0.04002	0.03923
75	0	0.02245	0.00219	75	0.02857	0.02844	0.00043	75	0	0.04042	0.03958
$n=120$											
120	0	0.02245	0.00219	120	0.02887	0.02844	0.00043	120	0	0.04042	0.03958
15	0	0.02972	0.00217	15	0.03815	0.03725	0.00090	15	0	0.05325	0.05153
30	0	0.03306	0.00237	30	0.04243	0.04160	0.00083	30	0	0.05917	0.05757
45	0	0.03197	0.00313	45	0.04102	0.03999	0.00103	45	0	0.05722	0.05523
60	0	0.02245	0.00219	60	0.02887	0.02844	0.00043	60	0	0.04042	0.03958
75	0	0.02357	0.00232	75	0.03031	0.02979	0.00052	75	0	0.04243	0.04143
$n=150$											
150	0	0.02224	0.00219	150	0.02859	0.02816	0.00041	150	0	0.04002	0.03923
15	0	0.02233	0.00207	15	0.02871	0.02829	0.00044	15	0	0.04019	0.03923
30	0	0.02281	0.00252	30	0.02831	0.02826	0.00045	30	0	0.04104	0.04016
45	0	0.02440	0.00240	45	0.03138	0.03079	0.00059	45	0	0.04392	0.04278
60	0	0.04124	0.00408	60	0.05262	0.05093	0.00189	60	0	0.07342	0.06984
75	0	0.02778	0.00272	75	0.03572	0.03485	0.00087	75	0	0.05000	0.04833
$n=180$											
180	0	0.02222	0.00219	180	0.02857	0.02816	0.00041	180	0	0.04000	0.03920
15	0	0.02224	0.00219	15	0.02859	0.02818	0.00044	15	0	0.04002	0.03923
30	0	0.02245	0.00219	30	0.02887	0.02844	0.00043	30	0	0.04002	0.03923
45	0	0.02357	0.00232	45	0.03031	0.02979	0.00052	45	0	0.04002	0.03923
60	0	0.02778	0.00272	60	0.03572	0.03485	0.00087	60	0	0.04243	0.04143
75	0	0.04581	0.00439	75	0.05869	0.05591	0.00239	75	0	0.05245	0.04833

他の方向に生ずるくびれの程度が減少して、特徴のある起伏がいくぶんうすれている。その傾向は n が小さい材料ほど、また θ が小さいみぞほどはっきりあらわれる。誤差はみぞの開き角が小さく射出の方向角が小さい程大きくなり、誤差率は各 θ について最大となる ϕ があり、 θ が大きくなると最大誤差率を示す ϕ も大きくなる。 $\theta = 180^\circ$ (平面) の場合を除いて、各 θ にたいする最大誤差率のうちで最大値を示すのは $\theta = 45^\circ$, $\phi = 15^\circ$ の場合である。この理由は、その方向に射出するふく射の中に φ の大きな反射成分が含まれ、それによって式 (11) の式 (10) にたいする誤差が大きくなることから、それらの和として求まるふく射においても誤差は増大するためであり、それはまた θ と ϕ とによって決定される。

いずれにしても、V 字みぞ粗面の見かけの指向ふく射率についての両計算値間の誤差率の

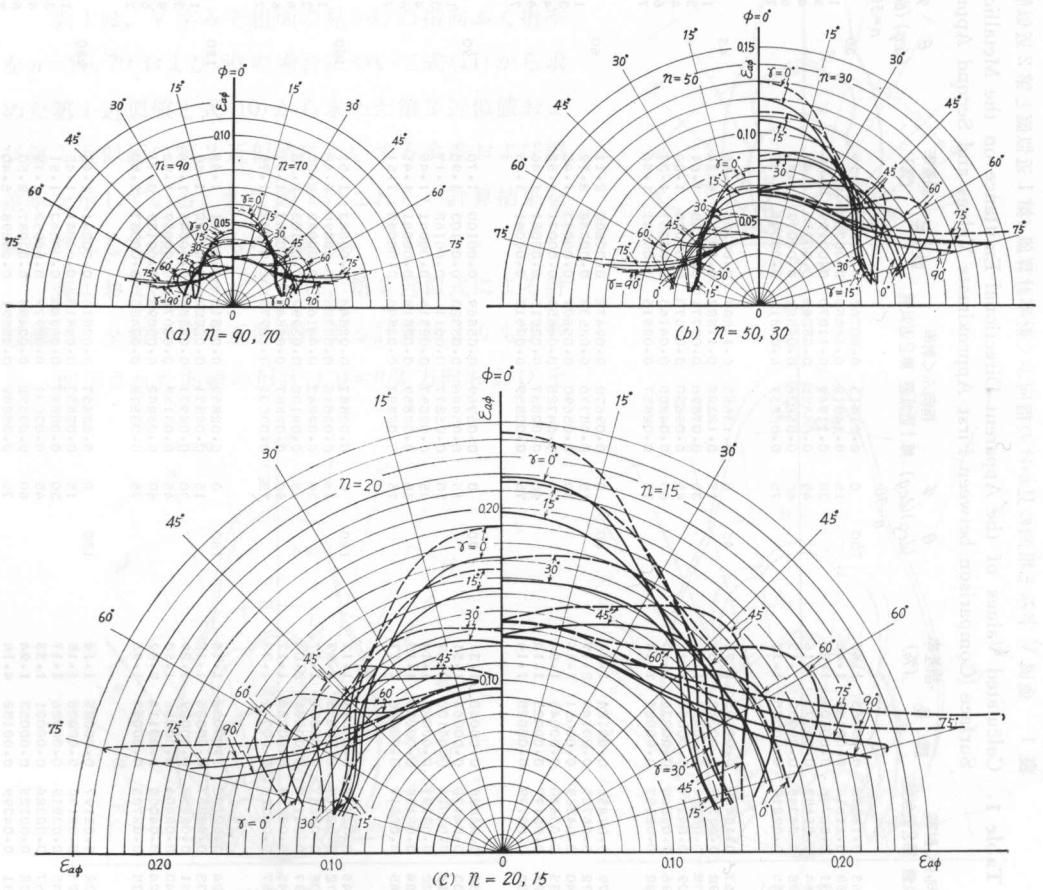


図 2 金属円弧みぞ粗面の見かけの指向ふく射率計算値 (破線—第 1 近似値, 実線—第 2 近似値)

(a) $n = 90, 70$, (b) $n = 50, 30$, (c) $n = 20, 15$

Fig. 2. Calculated values of the apparent directional emittance on the metallic circular arc groove rough surface (broken line—first approximate values and solid line—second approximate values).

(a) $n = 90, 70$, (b) $n = 50, 30$, (c) $n = 20, 15$

最大値は、 $\theta=45^\circ$, $\phi=15^\circ$ において $n=90$ のとき3.34%, $n=70$ のとき4.24% および $n=50$ のとき5.80%で、それ以外の θ および ϕ においては $n=90$ および $n=70$ のとき1~2%, $n=50$ のとき2~3%に過ぎない。

3.2 円弧みぞ粗面

円弧みぞ粗面の見かけの指向ふく射率の計算結果を図2に示す。計算は $n=90, 70, 50, 30, 20$ および15について行なっている。図中の実験は第2近似値を、破線は第1近似値を示す。V字みぞ粗面の場合と同様に、両曲線の傾向は相似するが、全般に前者は後者より小さく、その誤差は n が大きいほど小さく、 n が小さいほど大きい。各 n について最大誤差率を示す方向は、曲線のふくらみの生ずる $\phi=\bar{\gamma}$ となる方向で、第2近似値の曲線は第1近似値のそれよりふくらみの度合いが減少する。 $n=90$ の材料における最大誤差率は $\phi=75^\circ$ の $\bar{\gamma}=75^\circ$ の方向で生じ、その値は14.5%であるのに対して、 $n=15$ における最大誤差率は $\phi=\bar{\gamma}=75^\circ$ で30.4%の値を示す。その他の $\bar{\gamma}$ においても $\phi=\bar{\gamma}$ の方向で大きな誤差率を示すが、この値より小さい。

3.3 ランダム粗面

ランダム粗面の見かけの指向ふく射率の計算結果を表2および図3に示す。計算は $n=90, 70, 50, 30, 20$ および15について行なっている。図3の実線は第2近似値を、破線は第1近似値を示し、両曲線の傾向は相似するもののその値は全般に前者は後者より小さい。とくに n が小さい材料において粗度の減少にともなって ϕ の大きい方向で、その差が著しくあらわれ

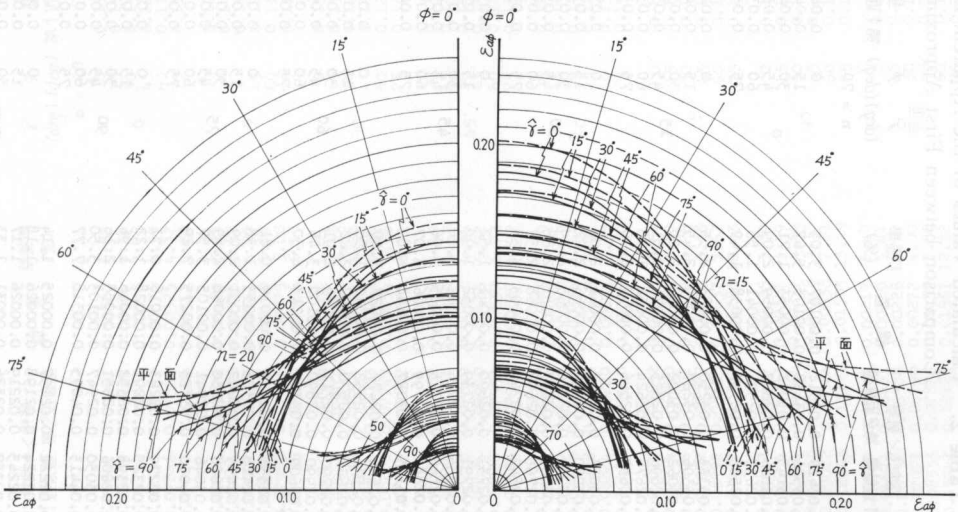


図3 金属ランダム粗面の見かけの指向ふく射率計算値
(破線—第1近似値, 実線—第2近似値)

Fig. 3. Calculated values of the apparent directional emittance on the metallic random rough surface (broken line—first approximate values and solid line—second approximate values).

表 2 金属ランダム粗面の見かけの指向ふく射率計算値 (第 1 近似値と第 2 近似値と比較)
 Table 2. Calculated Values of the Apparent Directional Emittance on the Metallic Random Rough Surface
 (Comparison between First Approximate Values and Second Approximate Values)

ϕ (deg.)	ϕ (deg.)	ϕ (deg.)	指向ふく射率		誤差率 (%)		ϕ (deg.)	ϕ (deg.)	指向ふく射率		誤差率 (%)	
			第 1 近似値	第 2 近似値	誤差	誤差率			第 1 近似値	第 2 近似値	誤差	誤差率
0	0	0	0.03619	0.03512	0.00107	3.05	0	0	0.04641	0.04481	0.00160	3.57
	15	15	0.03526	0.03438	0.00195	5.67	15	15	0.04519	0.04385	0.00134	3.06
	30	30	0.03145	0.03092	0.00053	1.71	30	30	0.04039	0.03953	0.00086	2.18
	45	45	0.02886	0.02827	0.00059	2.09	45	45	0.03718	0.03621	0.00097	2.68
	60	60	0.02635	0.02594	0.00041	1.58	60	60	0.03597	0.03516	0.00081	2.44
15	0	0	0.02585	0.02547	0.00038	1.49	75	75	0.03342	0.03264	0.00078	2.39
	15	15	0.03333	0.03250	0.00083	2.45	15	15	0.04280	0.04149	0.00131	3.16
	30	30	0.03306	0.03227	0.00079	2.40	30	30	0.04241	0.04119	0.00122	2.96
	45	45	0.03062	0.03002	0.00060	2.00	45	45	0.03932	0.03859	0.00073	2.42
	60	60	0.02896	0.02855	0.00041	1.51	60	60	0.03728	0.03618	0.00110	3.04
30	0	0	0.02653	0.02596	0.00057	2.20	75	75	0.03449	0.03352	0.00097	2.89
	15	15	0.03023	0.02962	0.00061	2.06	15	15	0.03887	0.03784	0.00103	2.72
	30	30	0.03050	0.02984	0.00066	2.21	30	30	0.03917	0.03811	0.00106	2.78
	45	45	0.02939	0.02876	0.00063	2.10	45	45	0.03775	0.03679	0.00096	2.61
	60	60	0.02893	0.02812	0.00081	2.88	60	60	0.03723	0.03602	0.00121	3.36
45	0	0	0.02766	0.02698	0.00068	2.52	75	75	0.03562	0.03444	0.00118	3.43
	15	15	0.02842	0.02749	0.00093	3.38	15	15	0.03665	0.03502	0.00163	4.65
	30	30	0.02731	0.02690	0.00041	1.52	30	30	0.03519	0.03440	0.00079	2.30
	45	45	0.02785	0.02724	0.00061	2.24	45	45	0.03591	0.03501	0.00090	2.57
	60	60	0.02860	0.02775	0.00085	3.07	60	60	0.03576	0.03485	0.00091	2.61
60	0	0	0.02885	0.02799	0.00086	3.06	75	75	0.03679	0.03556	0.00123	3.46
	15	15	0.03175	0.03027	0.00148	4.89	15	15	0.04089	0.03841	0.00248	6.46
	30	30	0.02504	0.02477	0.00027	1.09	30	30	0.03533	0.03470	0.00063	1.99
	45	45	0.02627	0.02570	0.00057	2.22	45	45	0.03372	0.03291	0.00081	2.32
	60	60	0.02790	0.02711	0.00079	2.91	60	60	0.03589	0.03474	0.00115	3.31
75	0	0	0.03609	0.03390	0.00210	3.46	75	75	0.03845	0.03684	0.00161	4.32
	15	15	0.02588	0.02539	0.00049	1.98	15	15	0.04644	0.04293	0.00351	8.18
	30	30	0.02418	0.02385	0.00033	1.38	30	30	0.03048	0.02995	0.00053	1.77
	45	45	0.02493	0.02442	0.00051	2.09	45	45	0.03198	0.03128	0.00070	2.16
	60	60	0.03046	0.02941	0.00105	3.57	60	60	0.03569	0.03469	0.00100	2.84
90	0	0	0.04050	0.03775	0.00275	7.29	75	75	0.03912	0.03749	0.00163	4.35
	15	15	0.02279	0.02263	0.00016	0.71	90	90	0.05208	0.04762	0.00446	9.37
	30	30	0.02325	0.02297	0.00028	1.22	90	90	0.02947	0.02900	0.00047	1.62
	45	45	0.02398	0.02352	0.00046	1.96	90	90	0.03001	0.02941	0.00060	2.03
	60	60	0.02606	0.02551	0.00055	2.16	90	90	0.03074	0.03013	0.00061	2.05
平面	0	0	0.03050	0.02947	0.00103	3.57	75	75	0.03552	0.03266	0.00286	2.68
	15	15	0.04413	0.04095	0.00318	7.50	75	75	0.03916	0.03759	0.00157	4.10
	30	30	0.02222	0.02197	0.00025	1.14	90	90	0.03875	0.03816	0.00041	1.46
	45	45	0.02224	0.02198	0.00026	1.18	90	90	0.02870	0.02818	0.00041	1.46
	60	60	0.02357	0.02326	0.00031	1.35	90	90	0.02897	0.02844	0.00041	1.46

φ (deg)	指向なく射率 第1近似値		指向なく射率 第2近似値		φ (deg)	指向なく射率 第1近似値		指向なく射率 第2近似値		φ (deg)	指向なく射率 第1近似値		指向なく射率 第2近似値	
	射率	誤差 (%)	射率	誤差 (%)		射率	誤差 (%)	射率	誤差 (%)		射率	誤差 (%)	射率	誤差 (%)
0	0.10541	0.09961	0.09580	5.82	0	0.15471	0.14329	0.01142	7.97	0	0.20194	0.18403	0.01791	9.73
15	0.10283	0.09667	0.00616	6.57	15	0.15236	0.14116	0.01110	7.86	15	0.19729	0.18079	0.01720	8.75
30	0.08194	0.08559	0.00335	3.78	30	0.15660	0.12845	0.00815	6.35	30	0.17952	0.16899	0.01357	8.18
45	0.08538	0.08163	0.00375	4.59	45	0.12686	0.11897	0.00789	6.67	45	0.16752	0.15739	0.01134	8.51
60	0.07846	0.07521	0.00355	4.52	60	0.11704	0.11012	0.00692	6.28	60	0.15716	0.14741	0.01175	8.19
75	0.07717	0.07406	0.00311	4.20	75	0.11528	0.10843	0.00685	6.32	75	0.15304	0.14342	0.01162	8.22
0	0.09761	0.09272	0.00489	5.27	0	0.14381	0.13387	0.00994	7.47	0	0.18840	0.17587	0.01587	9.20
15	0.09674	0.09138	0.00536	5.87	15	0.14334	0.13336	0.00998	7.48	15	0.18719	0.17108	0.01611	9.42
30	0.08967	0.08606	0.00361	4.20	30	0.13131	0.12184	0.00829	6.64	30	0.17500	0.16137	0.01363	8.45
45	0.08946	0.08136	0.00810	3.04	45	0.12684	0.11842	0.00842	7.11	45	0.16736	0.15350	0.01362	9.03
60	0.07955	0.07576	0.00379	3.00	60	0.11848	0.11068	0.00780	7.05	60	0.15638	0.14381	0.01308	9.10
75	0.07885	0.07499	0.00386	3.15	75	0.11753	0.10930	0.00823	7.55	75	0.15591	0.14216	0.01375	9.67
0	0.08910	0.08509	0.00401	4.71	0	0.13187	0.12344	0.00843	6.83	0	0.17351	0.15975	0.01376	8.61
15	0.08966	0.08361	0.00605	5.28	15	0.13308	0.12435	0.00873	7.02	15	0.17425	0.16400	0.01445	9.16
30	0.08632	0.08361	0.00271	4.49	30	0.12817	0.12001	0.00816	6.80	30	0.16462	0.15332	0.01330	8.56
45	0.08201	0.08083	0.00111	5.46	45	0.12642	0.11753	0.00896	7.56	45	0.16673	0.15221	0.01452	9.88
60	0.08201	0.07707	0.00494	2.86	60	0.12185	0.11279	0.00906	8.03	60	0.16103	0.14609	0.01499	10.24
75	0.08379	0.07852	0.00527	6.71	75	0.12434	0.11350	0.01084	9.55	75	0.16456	0.14679	0.01777	12.11
0	0.08108	0.07782	0.00326	4.19	0	0.12088	0.11346	0.00712	6.28	0	0.15936	0.14749	0.01187	8.05
15	0.08250	0.07881	0.00369	4.68	15	0.12280	0.11528	0.00752	6.52	15	0.16195	0.14695	0.01300	8.73
30	0.08210	0.07849	0.00361	4.56	30	0.12205	0.11431	0.00774	6.77	30	0.16080	0.14822	0.01254	8.62
45	0.08226	0.07970	0.00456	5.72	45	0.12499	0.11589	0.00910	7.85	45	0.16090	0.15007	0.01484	9.88
60	0.08528	0.07991	0.00537	7.55	60	0.12643	0.11691	0.01052	9.08	60	0.16484	0.14963	0.01731	11.58
75	0.08528	0.07991	0.00537	6.72	75	0.12638	0.12166	0.01482	12.26	75	0.16007	0.15608	0.02399	15.37
0	0.07481	0.07208	0.00273	3.79	0	0.11170	0.10556	0.00614	5.82	0	0.14819	0.13776	0.01043	7.57
15	0.07644	0.07339	0.00305	4.16	15	0.11414	0.10760	0.00654	6.08	15	0.14512	0.13967	0.01149	8.23
30	0.07775	0.07441	0.00330	4.49	30	0.11584	0.10872	0.00712	6.55	30	0.14338	0.13738	0.01150	8.13
45	0.08338	0.07793	0.00445	5.71	45	0.12237	0.11343	0.00894	7.88	45	0.14167	0.13402	0.01145	9.97
60	0.08320	0.08220	0.00604	7.55	60	0.13066	0.11891	0.01175	9.88	60	0.17239	0.15313	0.01917	12.52
75	0.10426	0.09410	0.01016	10.80	75	0.13285	0.13283	0.02002	15.07	75	0.17239	0.16093	0.03162	18.84
0	0.07074	0.06832	0.00242	3.54	0	0.10592	0.10037	0.00555	5.53	0	0.14087	0.13136	0.00951	7.24
15	0.07214	0.06950	0.00264	3.80	15	0.10803	0.10290	0.00590	5.78	15	0.14346	0.13311	0.00935	7.78
30	0.07104	0.07002	0.00304	4.28	30	0.11058	0.10409	0.00649	6.24	30	0.14619	0.13571	0.01048	7.72
45	0.07992	0.07597	0.00411	5.48	45	0.11898	0.11050	0.00848	7.67	45	0.15751	0.14345	0.01406	9.82
60	0.08922	0.08355	0.00637	7.53	60	0.12321	0.12074	0.01247	10.33	60	0.17571	0.15532	0.02042	13.15
75	0.11627	0.10342	0.01285	12.43	75	0.13979	0.14462	0.02317	17.40	75	0.22241	0.18258	0.05983	21.82
0	0.06852	0.06627	0.00225	3.39	0	0.10276	0.09783	0.00523	5.36	0	0.13685	0.09902	0.00902	7.06
15	0.06954	0.06713	0.00247	3.59	15	0.10437	0.09833	0.00552	5.61	15	0.13977	0.12912	0.00961	7.44
30	0.07148	0.06851	0.00277	4.04	30	0.10895	0.10085	0.00597	5.92	30	0.14143	0.13176	0.00967	7.34
45	0.07748	0.07370	0.00378	5.13	45	0.11562	0.10771	0.00720	7.34	45	0.15338	0.14009	0.01329	9.14
60	0.09022	0.08384	0.00638	7.51	60	0.12132	0.11232	0.01263	10.32	60	0.17289	0.15598	0.02089	13.39
75	0.12643	0.11140	0.01503	13.49	75	0.13936	0.12488	0.02948	19.05	75	0.24127	0.19455	0.04672	24.01
0	0.06667	0.06448	0.00219	3.40	0	0.10000	0.09512	0.00488	5.13	0	0.13333	0.12474	0.00859	6.89
15	0.06736	0.06509	0.00220	3.41	15	0.10006	0.09512	0.00488	5.13	15	0.13341	0.12480	0.00861	6.90
30	0.07071	0.06736	0.00272	3.50	30	0.10104	0.09596	0.00508	5.62	30	0.13471	0.12577	0.00894	7.11
45	0.07071	0.06736	0.00272	3.50	45	0.10607	0.10081	0.00606	6.26	45	0.13077	0.12077	0.01065	8.11
60	0.08353	0.07876	0.00457	5.80	60	0.12509	0.11488	0.01012	8.81	60	0.16667	0.14897	0.01770	11.88
75	0.13742	0.12181	0.01561	12.82	75	0.20613	0.17219	0.05394	19.71	75	0.27483	0.21651	0.05832	26.94

る。表2はランダム粗面の見かけの指向ふく射率の第1近似値、第2近似値、両値の誤差および誤差率を示す。この数値によれば、 $n \geq 50$ の材料の誤差率は数%以下の小さな値であるが、 n の減少とともに増大し、 $n=15$ の $\hat{r}=90^\circ$ の粗面では $\phi=75^\circ$ で約24%となり、同じ材料の平面では $\phi=75^\circ$ で約27%を示す。このことから、 $n \geq 50$ の材料においては、各粗面の各方向角の第1近似値と第2近似値の誤差率は非常に小さく、實際上その差は無視しうるものとおもわれる。

4. む す び

V字みぞ粗面、円弧みぞ粗面およびランダム粗面の見かけの指向ふく射率を、粗面内面の材料固有の指向ふく射率としてSchmidtらによって導かれた第1近似式および第2近似式を適用して、既に発表した方法を用いて計算し、その間の比較、検討を行なった。その結果、全般に第2近似値は第1近似値より常に小さく、材料の屈折率 n が大きいときはその誤差は無視しうるが、 n が小さい材料ではかなり大きな誤差率を示すことが明らかになった。

著者らは、これまでV字みぞ粗面、円弧みぞ粗面およびランダム粗面の見かけの指向ふく射率の測定を行なって、その結果を第1近似式による計算結果と比較したが、ここで求めたより厳密な第2近似値と比較する場合は、より小さな屈折率にたいする計算結果と対比することによって同様な結論をうる。

文 献

- 1) 金山公夫：北見工大研報，2-3，417 (昭44-2)。
- 2) 金山公夫：第6回伝熱シンポジウム講演論文集，229 (昭44-5)。
- 3) 金山公夫：機械学会道支部第13回講演会論文集，203 (昭44-10)。
- 4) 金山公夫：北見工大研報，2-5，659 (昭45-12)。
- 5) 金山公夫：機械学会論文集，37-299，1378 (昭46-7)。
- 6) 金山・馬場：第8回伝熱シンポジウム講演論文集，265 (昭46-5)。
- 7) 金山公夫：北見工大研報，3-1，15 (昭46-10)。
- 8) Jakob, M.: Heat Transfer, 1, 47 (1964), Jhon Wiley & Sons.
- 9) Schmidt, E., Eckert, E.: Forschung Gebiete Ing., 175 (1935-7~8)。
- 10) Sparrow, E. M.: Radiation Heat Transfer, 63 (1967-8), Brooks/cole Pub. Co.
- 11) 9) に同じ，177。
- 12) Zipin, R. B.: J. Resh. Nat. Bur. Stand., 70 C-4, 275 (1966-10~12)。
- 13) 6) および 7) に同じ。