

ホットストリップミル用ワークロールの表面温度について

Temperature Distribution in Iron Work Rolls of Hot Strip Mill

関 本 靖 裕*
Yasuhiro Sekimoto

内 容 梗 概

ホットストリップにおけるワークロール表面温度の解析の必要性は、従来から重要視されてきた問題の一つであった。

筆者は某製鉄工場のホットストリップ仕上げスタンドを対象として、電子計算機を用いてその解析を行った。

1. 緒 言

ホットストリップミル用ワークロールの稼働中における表面および表面付近の温度は、その測定が非常にむずかしく、現在でもまだ推測の域を出ていない。ワークロールの表面温度を知ることは、ファイヤクラック、高温によるロール材質の組織変化、硬度低下などの問題に有力な指針を与えるものと考えられ、従来からその解析の必要性がとらえられている。

圧延中のロール表面温度については、昔から計算による推測がしばしば試みられている⁽¹⁾。ホットストリップに関しても、Beneti⁽²⁾らが電子計算機を用いてワークロールの表面付近の温度分布を計算し、さらに熱応力を算出している。この計算はロール表面の境界条件が不十分でロール表面温度を論ずることはできない。

筆者は某製鉄工場熱間圧延仕上げスタンドを対象として、各スタンドのワークロール表面に発生する摩擦熱および塑性変形による発熱量について考察し、さらに電子計算機 HIPAC-101 を用いて、表面温度の計算を試みた。以下にその結果を報告する。

2. 圧 延 工 程

2.1 熱 延 工 程

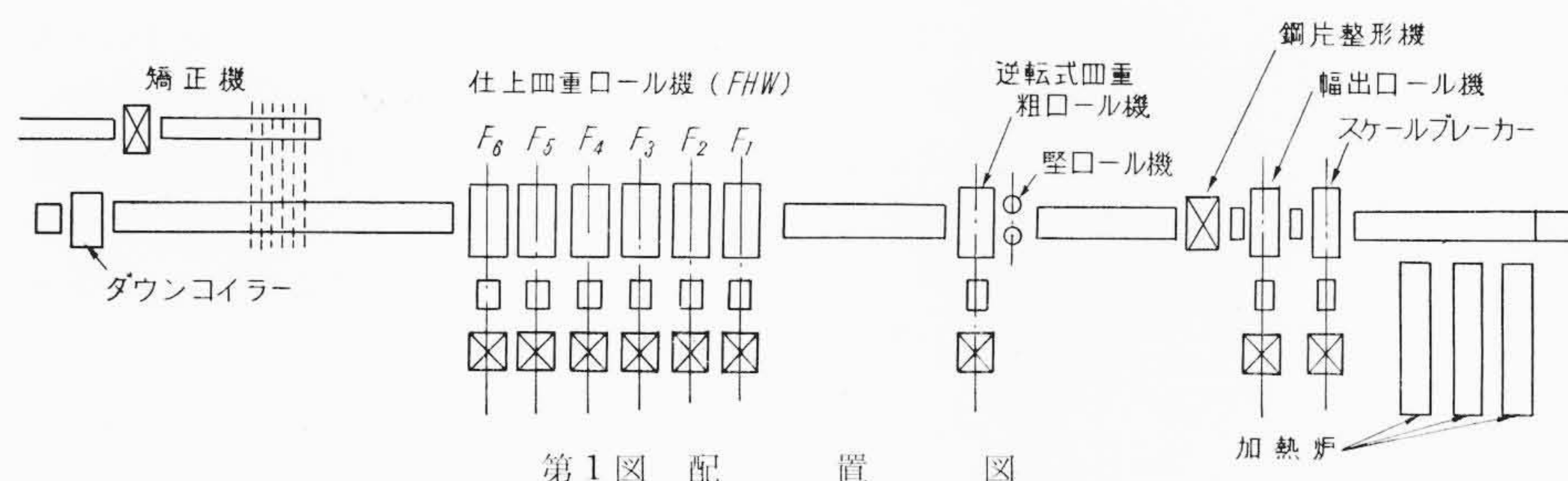
計算の対象として選んだ某製鉄所の熱延工程の圧延機配置図を第1図に示す。均熱加熱炉から出たスラブは幅出ロール機、粗ロール機をへて、仕上げ四重ロール機でコイルに圧延される。

仕上げスタンドの圧延スケジュールを第1表に示す。使用ロールは675 mmφである。圧延荷重は広く用いられている Ekelund の変形抵抗を求める式⁽³⁾から求めた。なお、ロール表面における冷却水の圧力を2気圧、水温を20°Cと考えた。

3. 計 算 式

3.1 計 算 内 容

第2図に示すように、ロール表面は圧延材と接触するところで、圧延材からの熱の移動、摩擦熱および板の塑性変形による発熱のた



第1図 配置図

第1表 仕上げスタンドの圧延スケジュール

スタンド番号	ストリップ幅	圧延前厚さ (m/m)	圧延後厚さ (m/m)	圧下量 (m/m)	接長さ (m/m)	圧延速度 (m/s)	圧延温度 (°C)	摩擦係数	圧延荷重 (t)
F1	1,310	21	12	9	55	1.75	1,000	0.35	1,010
F2	1,310	12	8.0	4	36.6	2.65	970	0.36	865
F3	1,310	8.0	5.5	2.5	29	3.8	940	0.37	890
F4	1,310	5.5	3.7	1.8	24.5	4.84	910	0.38	1,040
F5	1,310	3.7	3.2	0.5	13	6.6	880	0.39	500
F6	1,310	3.2	2.8	0.4	11.6	7.55	850	0.40	510

めに加熱され、その後圧延材から離れると水冷される。このような加熱冷却の繰り返しを、一つの圧延材が通過するまでに50~150回繰り返す。圧延材が通過してしまったあとはロール表面は水冷されるのみである。このような条件で、ロール表面温度および表面付近の温度分布の計算を行った。

3.2 基 本 式

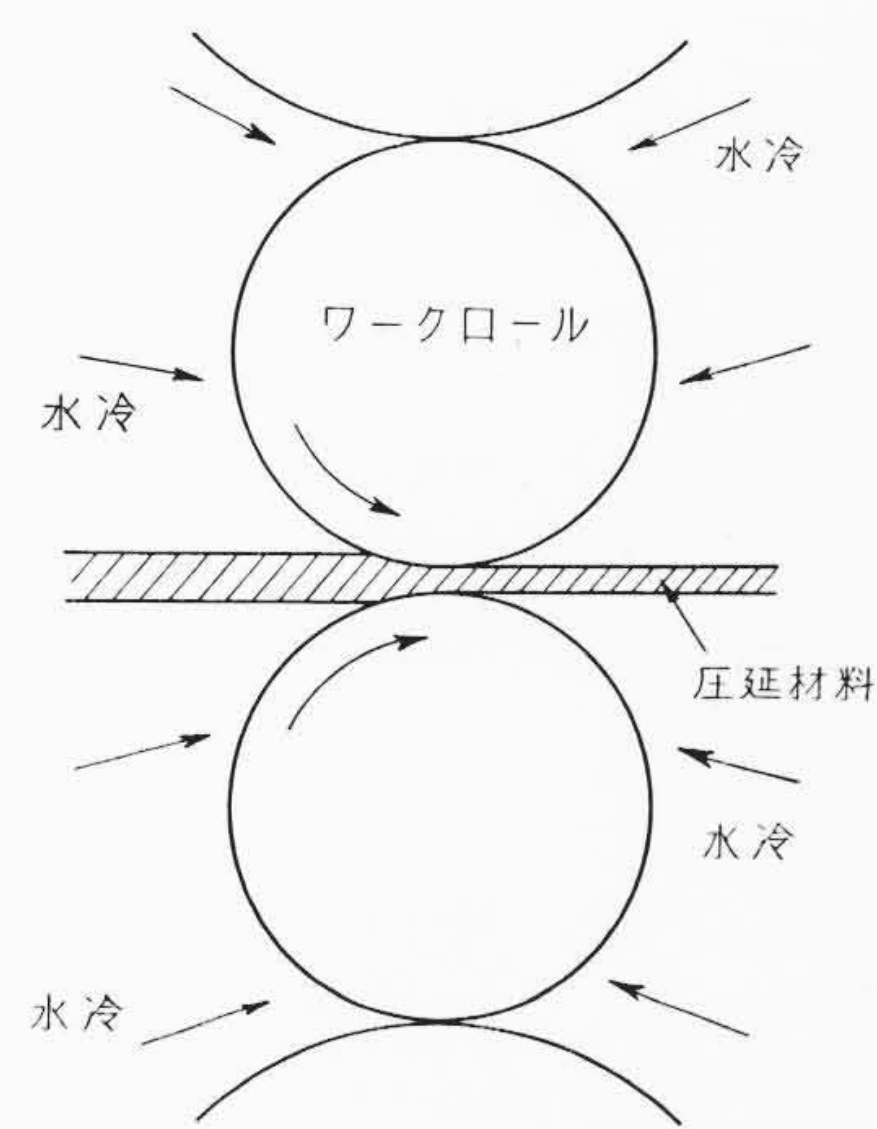
計算はロール胴中央部、表面付近のみを対象として行ったので、ロール表面から中心へ第3図に示すような1次元的セクション(S)を考え、それが回転し、セクションの端面(α)の境界値が変化するものと考えた。その場合、1次元的取り扱いによる誤差を検討したところ、本計算の範囲では問題にならないと考えられた。したがって、ロール表面に原点をとり、ロール内部へx軸をとると、ロールおよび圧延材内部の温度は次式にしたがう。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = k \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$k = \frac{\lambda}{c\rho}$$

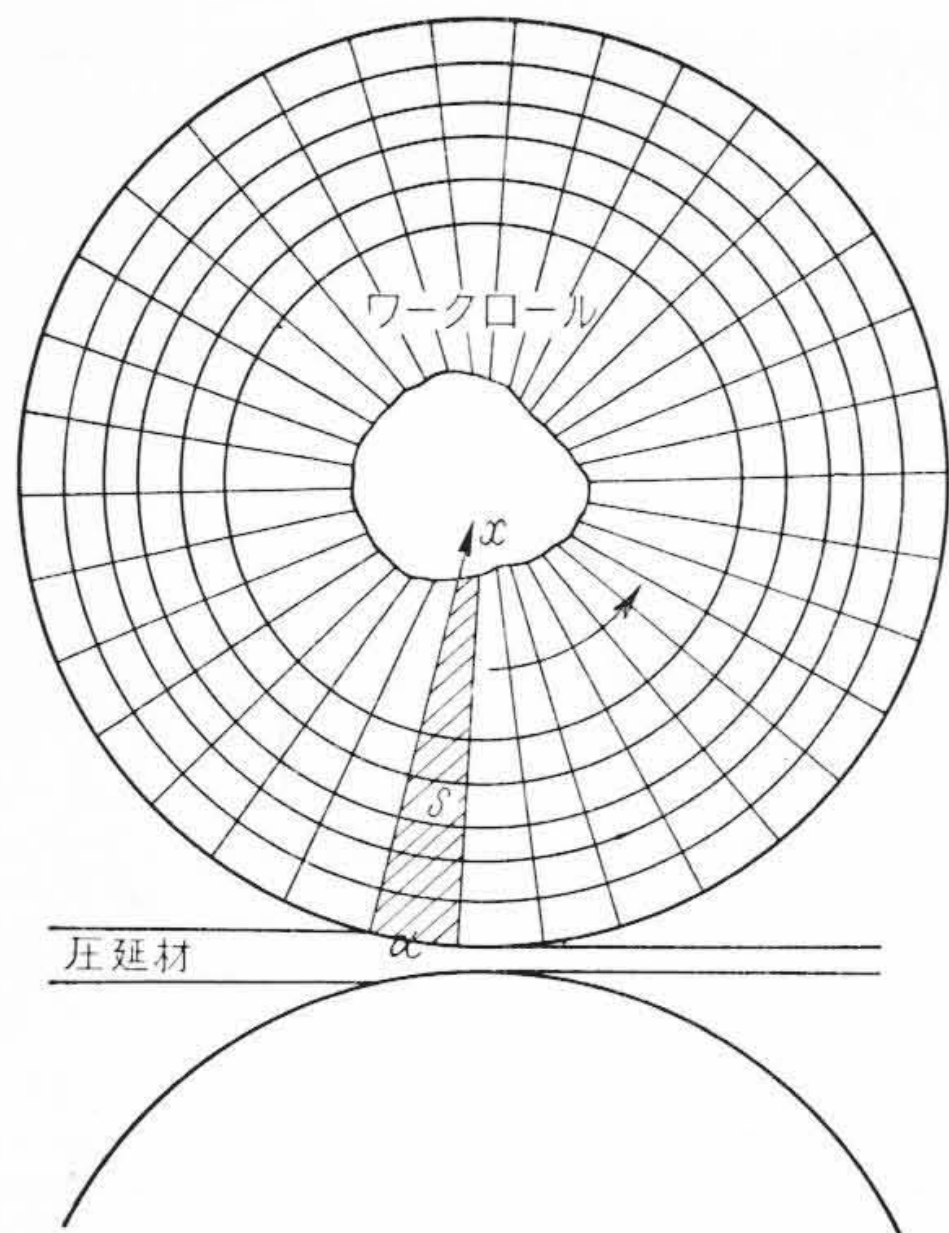
ここに θ : 温度(°C), t : 時間(S),

λ : 熱伝導率(cal/cm. s. °C)



第2図 熱間圧延状況

* 日立金属工業株式会社若松工場



第 3 図 ロール表面付近のセクション図

c : 比熱(cal/g. °C)

ρ : 密度(g/cm³)

なお、ロールと圧延材が接触している部分では、両者間の摩擦による発熱を考える必要がある。また、圧延材内部では材料の塑性変形による発熱を考えねばならない。(1)式を階差方程式に変形すると、

$$\theta_{m,n+1} = \gamma \left\{ \theta_{m+1,n} - \left(2 - \frac{1}{\gamma} \right) \theta_{m,n} + \theta_{m-1,n} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

$$\gamma = \frac{k \Delta t}{(\Delta x)^2}$$

となる。(2)式は第 3 図のセクションを x 軸方向に Δx の長さに分割したとき、ある時刻における $m+1, m, m-1$ の各点の温度 $\theta_{m+1,n}, \theta_{m,n}, \theta_{m-1,n}$ がわかれば m 点の Δt 時間後の温度 $\theta_{m,n+1}$ が求まることを示している。いま、 $\gamma=1/6$ にとると、

$$\theta_{m,n+1} = \frac{\theta_{m+1,n} + 4\theta_{m,n} + \theta_{m-1,n}}{6} \dots \dots \dots (3)$$

となる。

(3)式をロール表面と内部、および圧延材表面と内部に適用すれば、第 4 図を参照して次のようになる。

ロール表面層を除くロール内部(A. B の範囲)

$$\theta_{m,n+1} = \frac{\theta_{m+1,n} + 4\theta_{m,n} + \theta_{m-1,n}}{6} \dots \dots \dots (4)$$

圧延材と接触している時のロール表面層(α 点)

$$\theta_{m,n+1} = \frac{\theta_{m+1,n} + 4\theta_{m,n} + \theta_{m-1,n}}{6} + \alpha_{ir} \dots \dots \dots (5)$$

α_{ir} : 摩擦熱による上昇温度(常数)

圧延材表面層(α' 点)

$$\theta_{m,n+1} = \frac{\theta_{m+1,n} + 4\theta_{m,n} + \theta_{m-1,n}}{6} + \alpha'_{is} + A' \dots \dots \dots (6)$$

α'_{is} : 摩擦熱による上昇温度(常数)

A' : 塑性変形による上昇温度(常数)

圧延材内部(A' の範囲)

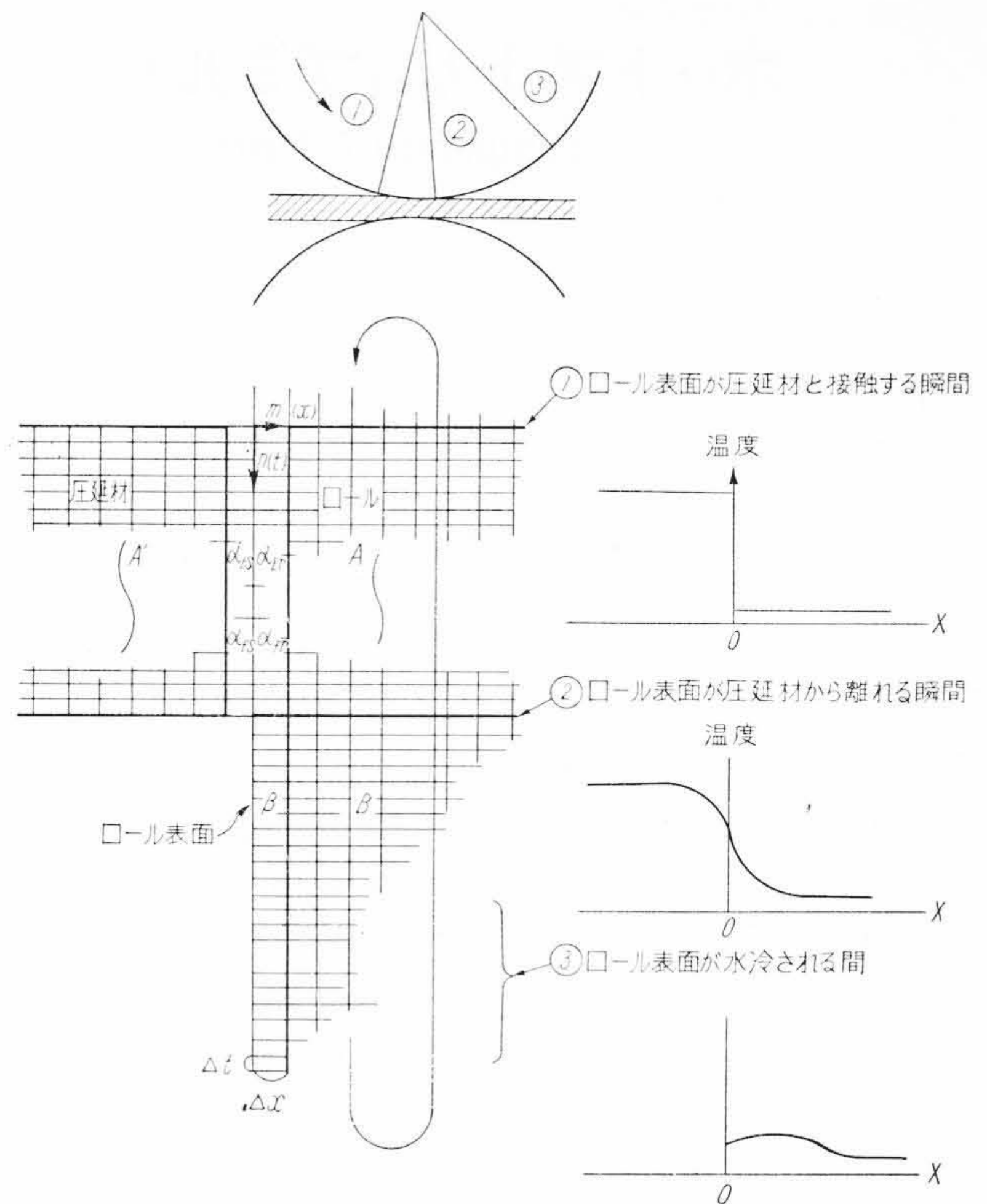
$$\theta_{m,n+1} = \frac{\theta_{m+1,n} + 4\theta_{m,n} + \theta_{m-1,n}}{6} + A' \dots \dots \dots (7)$$

A' : 塑性変形による上昇温度(常数)

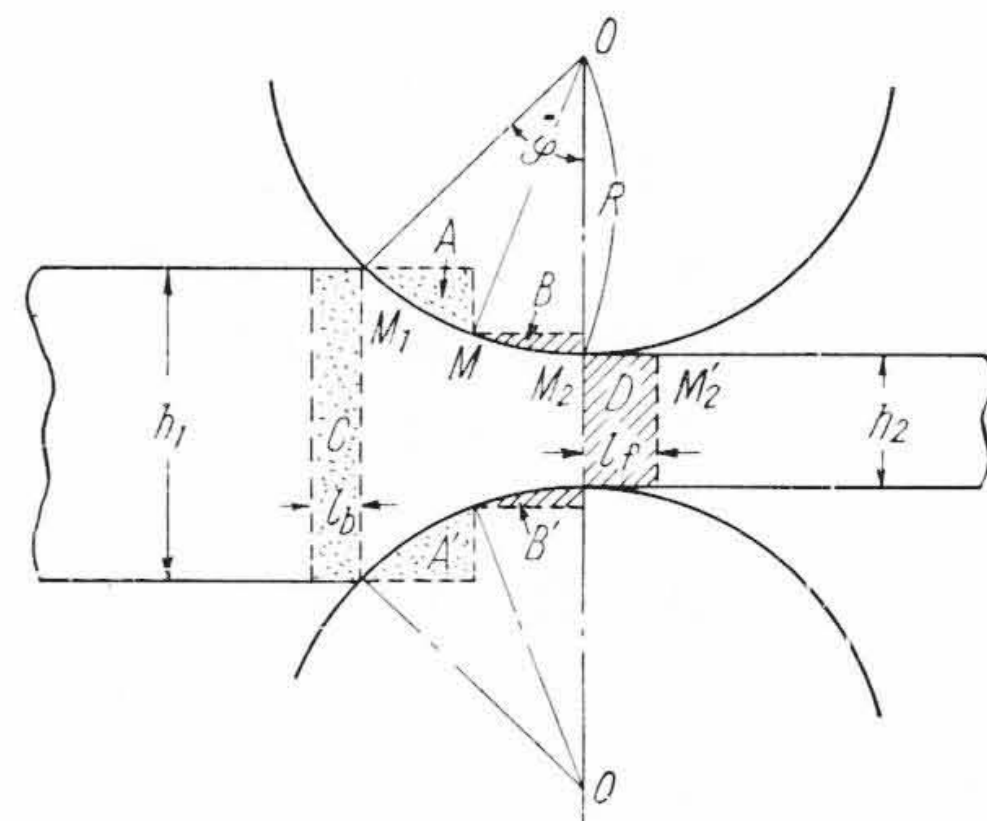
水冷中のロール表面層(β 点)

$$\theta_{1,n+1} = \theta_{1,n} + a(\theta_{2,n} - \theta_{1,n}) + \theta_q \dots \dots \dots (8)$$

$$a: \text{定数} \left(= k \frac{\Delta t}{(\Delta x)^2} \right)$$



第 4 図 計 算 手 順



まで進む間に、板は M から M_2' まで進む。この間に要する時間は、接触時間を T とすれば $T/2$ であるから、ロール表面に対する板の相対速度の平均値は次式で与えられる。

$$v_f = \frac{l_f}{\frac{T}{2}} \dots\dots\dots (10)$$

ここに v_f : 先進相対速度(mm/s)
まったく同様な考えで、後進相対速度 v_b を求めることができる。
ロール表面と圧延材の摩擦によって単位時間に発生する熱量は、先進および後進フローに対して次式で与えられる。

$$q_i = \frac{v_i \mu \sigma}{427} \dots\dots\dots (11)$$

ここに q_i : 摩擦による発熱量(kcal/mm².s)
 v_i : 相対速度(mm/s)
 μ : 摩擦係数
 σ : 平均圧延圧力(kg/mm²)

ただし添字が f のときは先進フロー、 b のときは後進フローの場合である。

また、(5)式および(6)式の α_{ij} は次式で与えられる。

$$\alpha_{ij} = \frac{k_j}{2\lambda_j} q_i \frac{\Delta t}{\Delta x} \dots\dots\dots (12)$$

ここに α_{ij} : 摩擦熱による温度上昇(°C)
 k_j : 温度伝導度(cm²/s)
 λ_j : 熱伝導率(cal/cm. s. °C)
 q_i : 摩擦熱による発熱量(kcal/mm².s)

ただし添字 j が r のときはロール、 s のときは圧延材である。

3.4 塑性変形による発熱

圧延材の塑性変形による発熱を次のように考える。すなわち、圧延中の平均圧延圧力に圧延後の変形率を乗じた値を圧延材の単位体積の変形エネルギーとし、このエネルギーがすべて熱に変換されるものと仮定し、接触時間を $n\Delta t$ とすると、塑性変形による圧延材の温度上昇は

$$A' = \frac{\sigma \varepsilon}{427 n c \rho} \dots\dots\dots (13)$$

ここに A' : 塑性変形による温度上昇(°C)
 σ : 平均圧延圧力(kg/mm²)
 ε : 圧下率(%)
 c : 圧延材の比熱(cal/g. °C)
 ρ : 圧延材の密度(g/cm³)

で与えられる。

3.5 水冷による熱放散

ロール表面温度を θ_1 、冷却水の温度を θ_0 、熱伝達係数を h とすれば、単位時間にロール表面単位面積から失われる熱量 q は、

$$q = h(\theta_1 - \theta_0) \text{ (kcal/m}^2\text{h)} \dots\dots\dots (14)$$

である。

熱間圧延の状態では、 h にどのような値を用いるかは非常にむずかしい問題である。そこで筆者は、この h に管内を強制対流で流れる水流と管壁間の Stender⁽⁴⁾ の熱伝達係数を用いることにした。

$$h = 2,900 \cdot \omega^{0.85} (1 + 0.014 \theta_0) \text{ (kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C)} \dots\dots\dots (15)$$

ここに ω : 流速(m/s)
 θ_0 : 水温(°C)

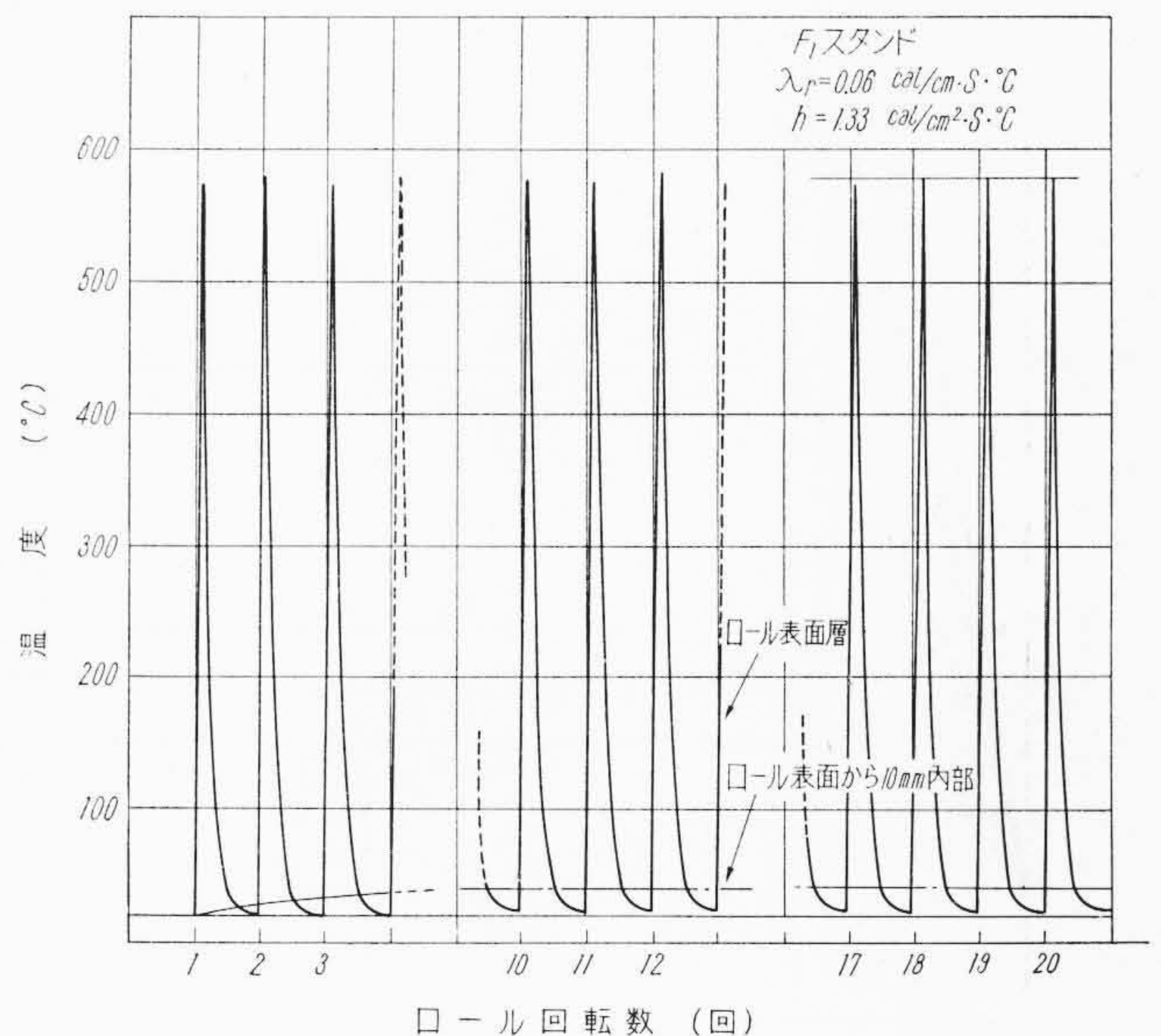
(14)式と(8)式の θ_q との関係は、

$$\theta_q = -k_r \frac{\Delta t}{\Delta x} \frac{q}{\lambda_r} \dots\dots\dots (16)$$

で与えられる。

第2表 各スタンドの発熱量

スタンド	圧延荷重 (kg/mm ²)	塑性変形による発熱量 (cal/cm ³)	摩擦による発熱量(先進フロー) (cal/cm ² .s)	摩擦による発熱量(後進フロー) (cal/cm ² .s)	ロール表面層の温度 (°C)
F ₁	14.0	14.1	244	301	570
F ₂	18.1	14.1	330	499	—
F ₃	23.4	17.2	574	920	522
F ₄	32.4	24.9	797	1,200	498
F ₅	29.4	9.3	465	935	425
F ₆	33.6	10.1	578	1,178	405



第6図 ロール表面層の温度変化

4. 定数の計算

4.1 摩擦熱と塑性による発熱量について

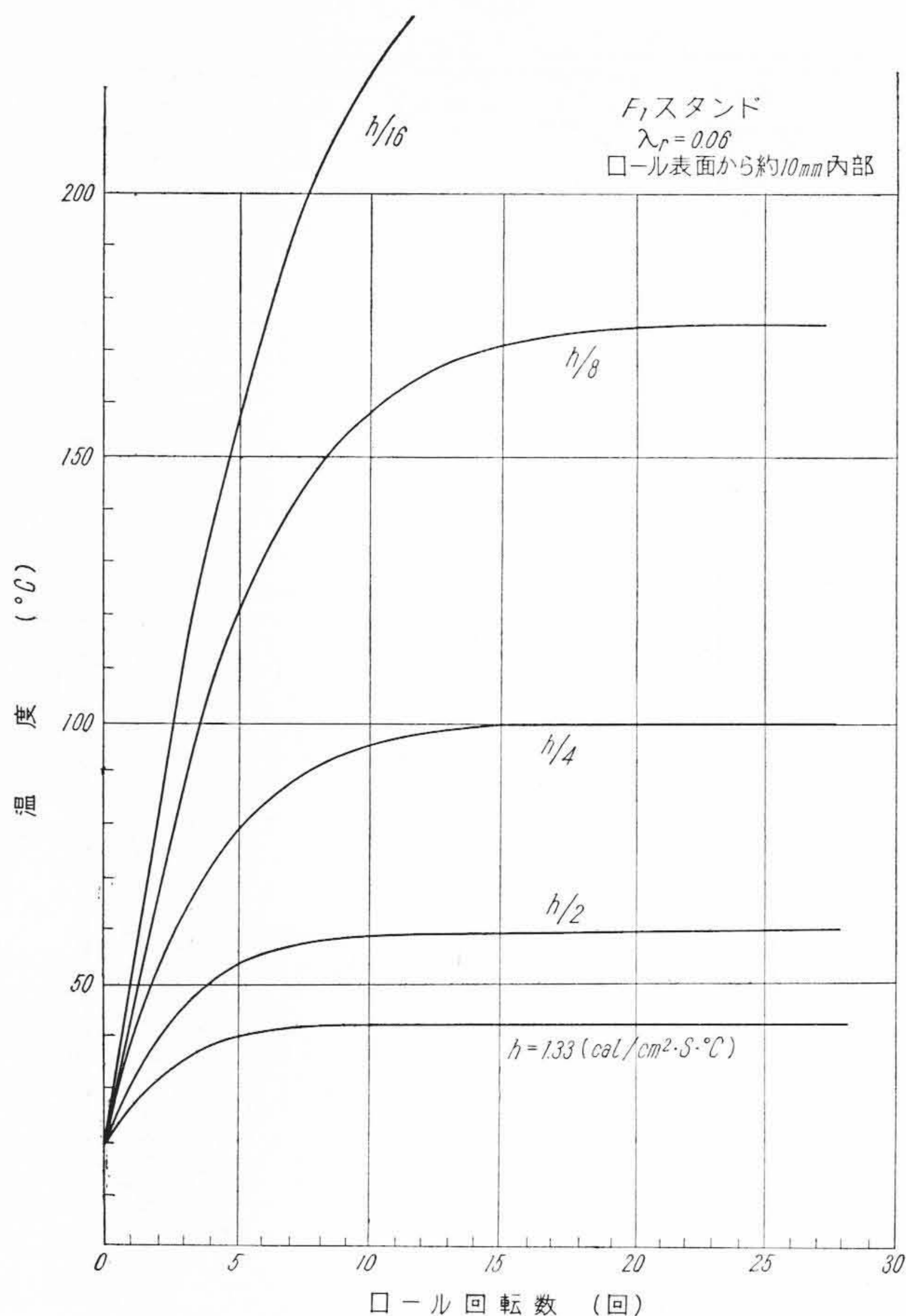
第1表の諸数値を(9)～(12)および(13)の各式に代入することによって、仕上げの各スタンドにおける発熱量を計算することができる。第2表にその結果を示す。さらに第1表および第2表左欄の数値を用いて各スタンドのワークロール表面温度を計算し、第2表最右欄に示した。ただしロールの熱伝導率(以下略して λ_r と記す)を 0.06 cal/cm. s. °C と考えた。この温度はロール表面が初めて圧延材に接触し、そして離れる瞬間のロール表面層 0.1mm の平均温度である。この計算は(4)～(7)式を手計算で行ったものである。

第2表によると、後のスタンドほど摩擦および塑性変形による発熱量が増加するのに反して、ロール表面温度が低下するが、圧延材の温度が漸次低下し、さらに圧延速度が速くなり、しかも接触長さが短くなるために、接触時間が短くなり、圧延材の熱および摩擦による発熱が、ロール側に伝わる時間が短くなるためと考えられる。

4.2 ロール表面と冷却水との間の熱伝達係数

(15)式に $\omega = 20.2$ m/s(2気圧)、 $\theta_0 = 20^\circ\text{C}$ を代入すると、 $h = 13.3$ cal/cm². s. °Cとなる。この熱伝達係数の値が妥当であるか否かを検討した。すなわち、まず F₁ スタンドを例にとり h の値を変えたときの圧延中のロール表面近くの温度を計算した。これは後に述べるように電子計算機で行ったものである。

ロール表面層(厚さ 0.1mm)の温度は、圧延材と接触し離れる瞬間は 600°C 近くまで上昇し、水冷によってふたたびもとの温度近くまで降下する。圧延材の通過中はロール表面の最高温度はある定った温度に近づいてゆく。また圧延材通過中、熱はロール表面からロールの内部へ流れ、ロール表面近くの温度は漸次上昇する。その場合、ロール表面が圧延材と接触する直前に、ロール表面から約10mm内



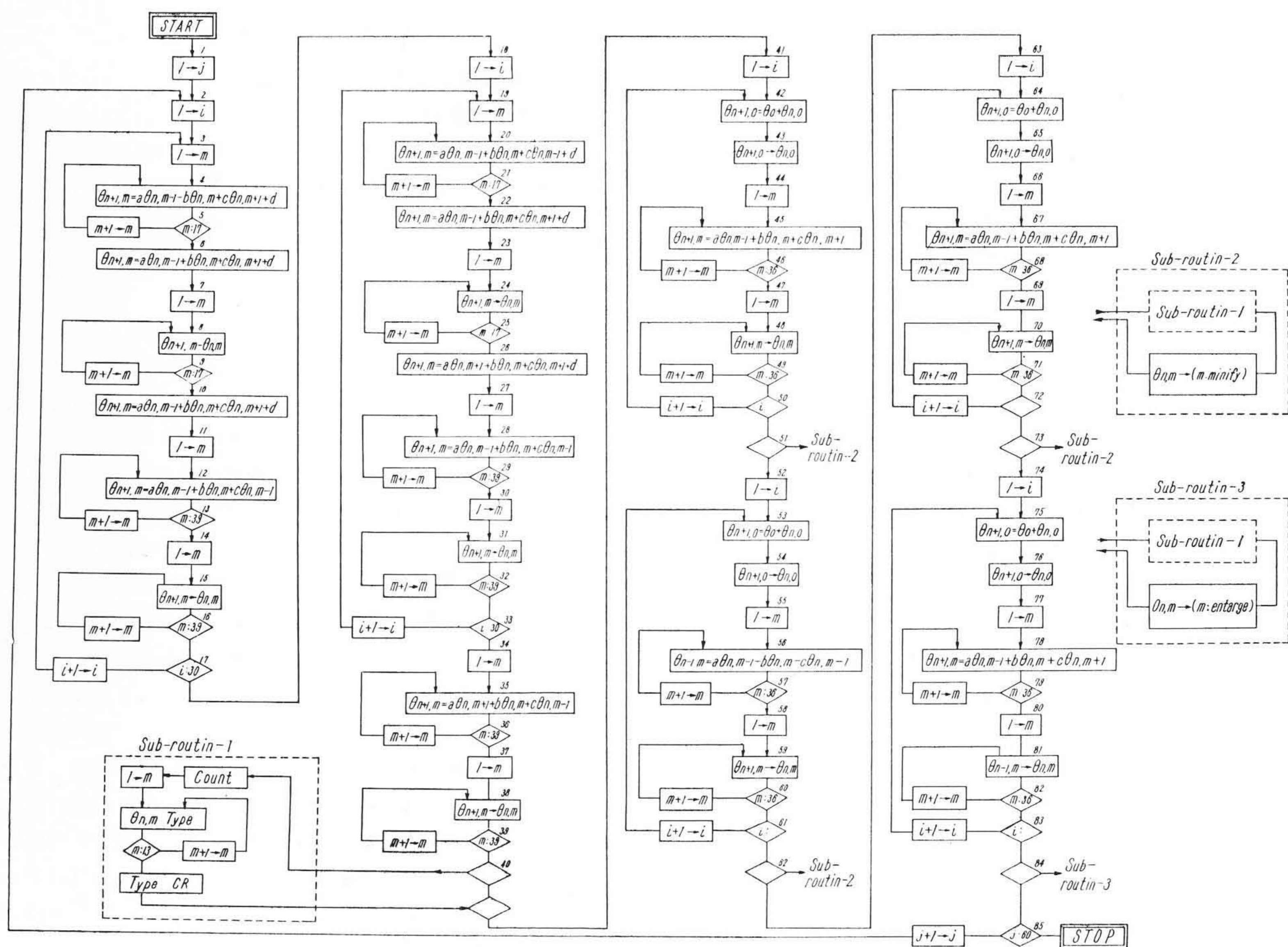
第 7 図 熱伝達係数とロール表面付近の温度上昇の関係

部に温度分布の極大値が表われる。この温度も圧延材通過中、漸次上昇しある定った温度に近づいてゆく。第 6 図にその状況を示す。第 7 図に熱伝達係数の値が変わった場合のロール表面近く（ロール表面から 10 mm 内部）の温度上昇を示す。第 7 図からわかるように、熱伝達係数を $h/4 = 0.332 \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ にとると、圧延中のロール表面付近の温度は約 100°C に上昇する。昭和 32 年 7 月、某製鉄工場の仕上げ、F₁ スタンドにおいて、圧延中のロール中心温度を測定したことがある。その結果から、ロール表面付近の温度は、圧延開始後約 10 分も過ぎれば、 100°C 近くまで上昇していることが推定された。したがって、この推定値にほぼ一致するようにするために、熱伝達係数を $0.332 \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ にとることが妥当ではないかと考え、以下のすべての計算にはこの値を用いることにした。

5. プログラミング

(4)～(7)式の数値計算を第 4 図に示すような計算手順にしたがって、電子計算機 HIPAC-101 に計算させるにはそのための演算プログラムを作製しなければならない。

第 8 図は演算の手順を流れ図(フローチャート)に示したものである。フローチャートは上から下へ進む。第 8 図のフローチャート内の添番号 1～40 間は、ロール表面が圧延材と接触中、41～85 間はロール表面が水冷されているときである。さらに 1～40 のうち 1～17 間は後進フローの部分、18～33 間は先進フローの部分である。2～6 間、18～22 間は圧延材側、7～13 間、23～29 間はロール側である。計算値はロール表面が圧延材と離れた瞬間(40)でサブルーチン-1(Sub-routine-1)の命令でテライプされる。また、その後 $\frac{1}{4} \times S$ 周(51) $\frac{2}{3} \times S$ 周(62) $2\frac{2}{3} \times S$ 周(73) および $37 \times S$ 周(84)したところでもテライプされる。ただし、S はロールの接触弧長さである。サブルーチン-2 はテライプの命令と計算時間を短縮するために



第 8 図 フ ロ ー ・ チ ャ ー ト

第9図 一般および数値読み込みルーチン

[illegible]

第 10 図 演算命令ルーチン

100	100R 58 11 32 01 414 4H 800 0XM 416 4H 802 0M 418 4H 800 0M 804 0A 616 4F 112 0X J 102 0J 806 0XA 648 0A 648 0F 804 0XA 414 0A 414 0F 76 01 448 4H 800 0XM 450 4H 802 0M 452 4H 800 0M 650 4F 128 0X J 119 0J 810 0XA 650 0A 650 0F 110 0I 616 4XA 416 4F 136 0X J 132 0J 138 1X J 101 1J 58 11 32 01 414 4H 800 0XM 416 4H 802 0M 418 4H 800 0M 804 0A 616 4F 150 0X J 140 0J 808 0XA 648 0A 648 0F 804 0XA 414 0A 414 0F 76 01 448 4H 800 0XM 450 4H 802 0M 452 4H 800 0M 650 4F 166 0X J 157 0J 812 0XA 650 0A	170 650 0F 110 0I 616 4XA 416 4F 174 0X J 170 0J 176 1X J 139 1J 822 0XA 824 0A 822 0F 24 11 450 8XA 86 0A 4 0XK 993 0XK 186 1X J 180 1J 1000 0XE 30 11 74 01 450 4H 800 0XM 452 4H 802 0M 454 4H 800 CM 652 4F 198 0X J 189 0J 450 0H 814 0XM 452 0H 800 0M 650 0F 76 01 650 4XA 450 4F 208 0X J 204 0J 210 1X J 188 1J 2 21 299 0XE 20 11 74 01 450 4H 800 0XM 452 4H 802 0M 454 4H 800 0M 652 4F 223 0X J 214 0J 450 0H 816 0XM 452 0H 800 0M 650 0F 76 01 650 4XA 450 4F 233 0X J 229 0J 235 1X J 213 1J 2 21 299 0XE	240 18 11 74 01 450 4H 800 0XM 452 4H 802 0M 454 4H 800 0M 652 4F 248 0X J 239 0J 450 0H 818 0XM 452 0H 800 0M 650 0F 76 01 650 4XA 450 4F 258 0X J 254 0J 260 1X J 238 1J 2 21 299 0XE 64 11 74 01 450 4H 800 0XM 452 4H 802 0M 454 4H 800 0M 652 4F 273 0X J 264 0J 450 0H 820 0XM 452 0H 800 0M 650 0F 76 01 650 4XA 450 4F 283 0X J 279 0J 285 1X J 263 1J 2 21 346 0XE 1003 0XE 822 0XE 828 0B 292 0G 3XG 1.2XE 100 0XE
-----	---	--	---

Δt を大きくするためのプログラムを含む。サブルーチン-3 はサブルーチン-2で大きくなった Δt をもとの Δt にもどすためのプログラムを含む。

HIPAC-101 で計算を行うには、演算で使用する命令が入っている一般読み込みルーチン、計算に使用するデータの入っている数値読み込みルーチン、およびフローチャートの演算命令が入っている演算命令ルーチンの三つのルーチンが必要である。

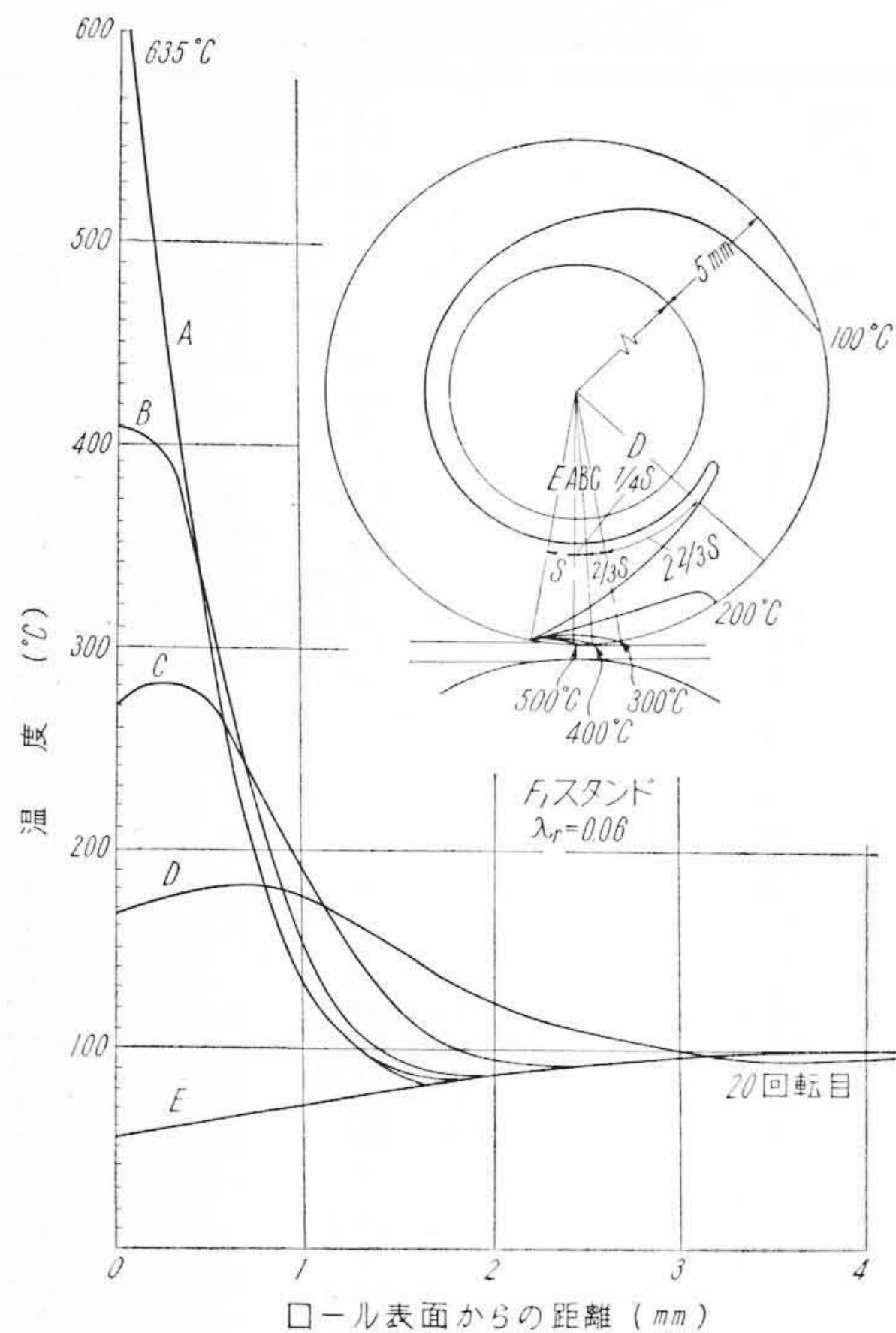
第9図Aに一般読み込みルーチン、第9図Bに数値読み込みルーチン(F₁ スタンド、 $\lambda_r=0.06$)のプログラムを示す。また、第10図に演算命令ルーチンのプログラムを示す。第10図中100~178番地はロール表面が圧延材と接触している間の演算である。そのなかで、101~137番地は後進フロー138~175番地は前進フローの部分である。179~185番地はロール表面が圧延材と離れた瞬間をテレタイプする命令である。176番地以下ロール表面が水冷される時の演算命令で210番地、235番地、260番地、285番地でサブルーチン(命令番地 299~390)に飛び、計算値をテレタイプするようになっている。なお、HIPAC-101の基本プログラムの詳細な解説は参考文献にゆずる⁽⁵⁾。

6. 計算結果

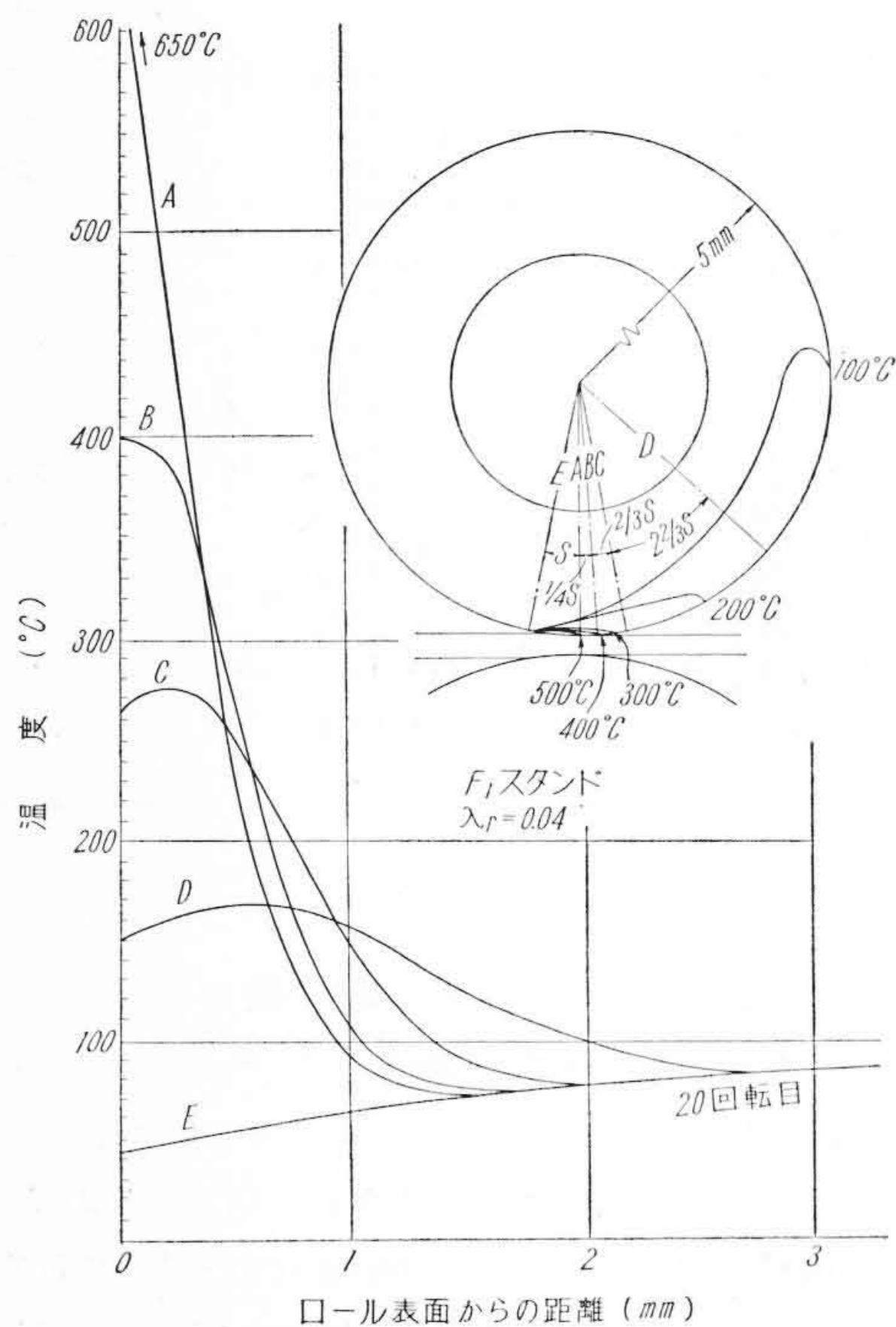
6.1 F₁ スタンドのロール表面温度

某製鉄工場の仕上げスタンドのワーキングロールには、主として Ni 入り高合金グレーンロールが使用されている。その λ_r を測定した結果⁽⁶⁾、表面付近の λ_r は $0.04 \sim 0.06 \text{ cal/cm. s. } ^\circ\text{C}$ であることが明らかになった。それゆえ、F₁ スタンドについて λ_r の値が異なった場合のロール表面温度を計算した。なお、圧延材の λ_s は $0.06 \text{ cal/cm. s. } ^\circ\text{C}$ (以下単位略す) と考えた。

4.2項で少し述べたように、圧延材がスタンドを通過している間は、ワーキングロールの表面付近の温度は漸次上昇し、ロールが20回転もすればある定った温度分布に近づいてゆく。第11, 12図は、 μ_r が0.06 および 0.04 の各場合において、ロールが20回転したときの温度分布を簡単に図示したものである。第11, 12図とも横軸はロール表面からの距離(mm)で縦軸は温度($^{\circ}\text{C}$)である。曲線Aはロール表面が圧延材から離れた瞬間のロール表面付近の温度分布である。ロール表面温度は曲線Aの上部に記しているが、ロール表面層と圧延材表面層の温度から算出したものである。曲線Bはロール表面が圧延材から離れて $\frac{1}{4} \times S$ (S は接触弧長さ)回転したところ、曲線Cはさらに $\frac{2}{3} \times S$ 、曲線Dはさらに $2\frac{2}{3} \times S$ 回転したところ、曲線



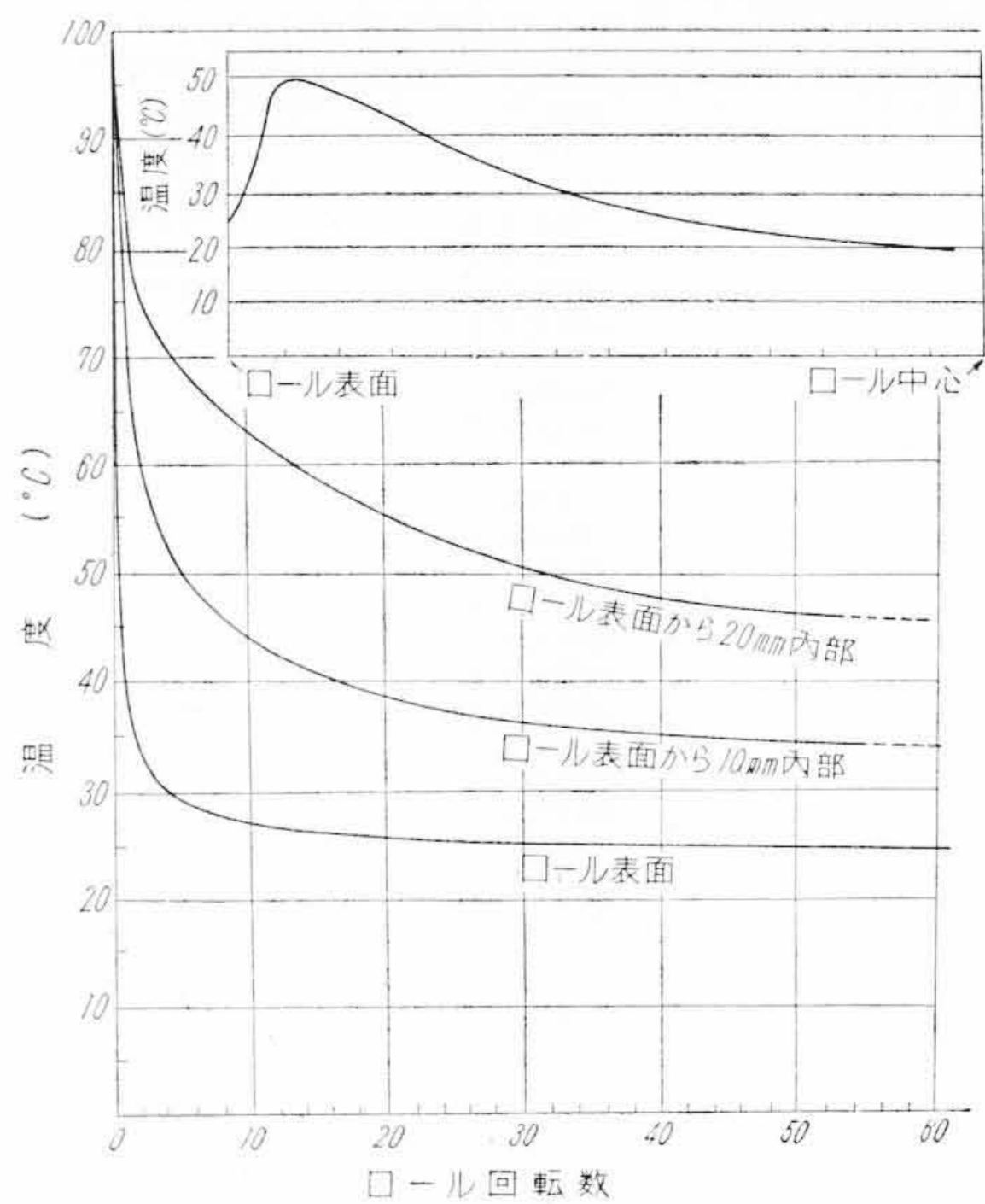
第 11 図 圧延時におけるロール表面付近の温度分布



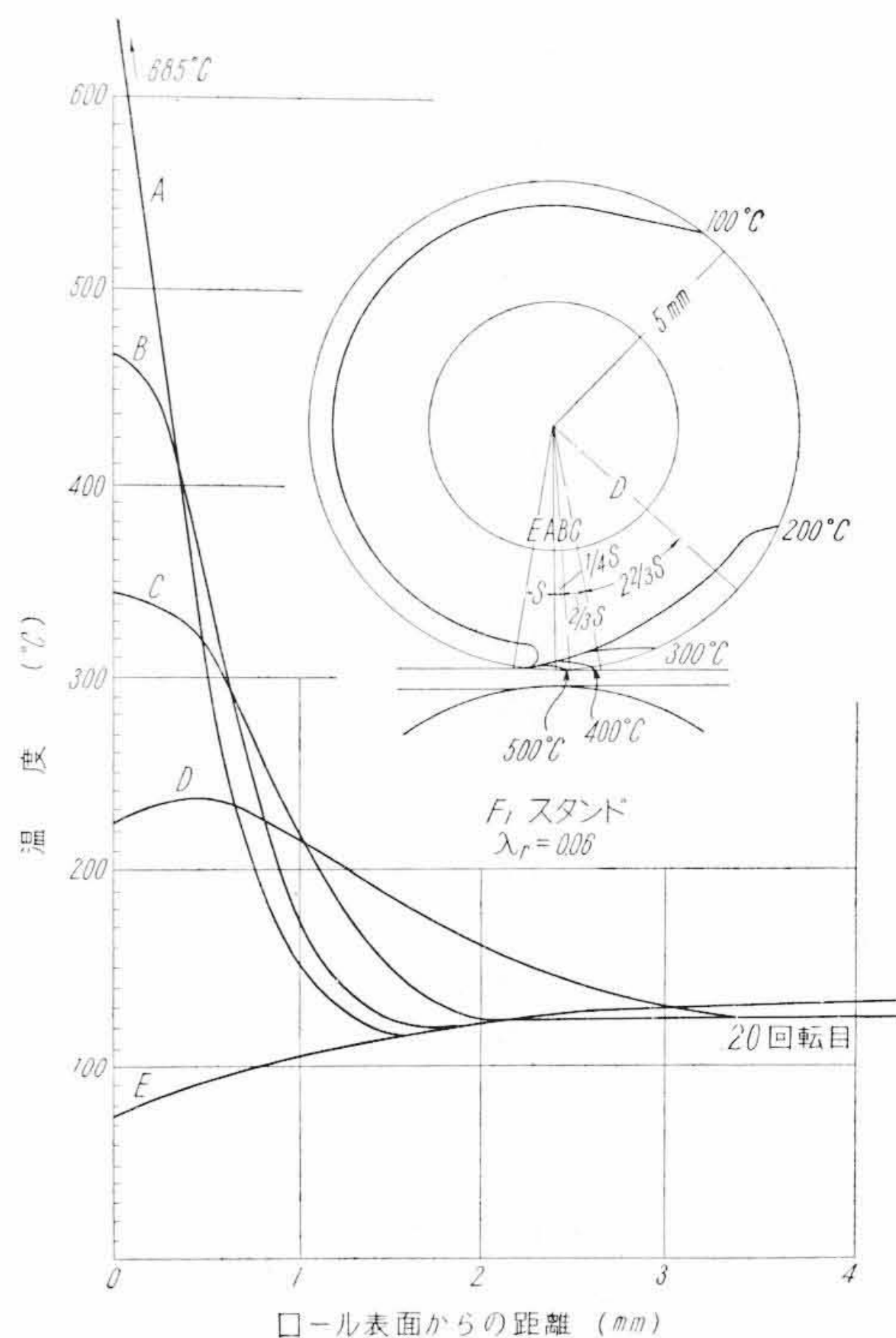
第 12 図 圧延時におけるロール表面付近の温度分布

E はロール表面が圧延材と接触する直前のロール表面付近の温度分布である。また、右上のロール断面の温度分布曲線はロール表面付近の等温曲線を示す。

第 11 図および第 12 図に示す計算結果によれば、 $\lambda_r = 0.06$ の場合は圧延材と離れた瞬間のロール表面温度は約 635°C になる。 $\lambda_r = 0.04$ の場合は約 650°C で、 λ_r が低い場合のほうがロール表面温度は少し高くなることが明らかになった。また圧延材と接触する直前のロール表面温度は $\lambda_r = 0.06$ の場合は約 56°C 、 $\lambda_r = 0.04$ の場合は約 47°C で λ_r が低いほうが低くなった。前にも述べたように、ロール表面から約 10 mm 内部に温度分布の極大値が存在するが、その値は $\lambda_r = 0.06$ の場合は約 100°C 、 $\lambda_r = 0.04$ の場合は約 90°C で、 λ_r が低い



第 13 図 圧延後のロール表面付近の温度変化

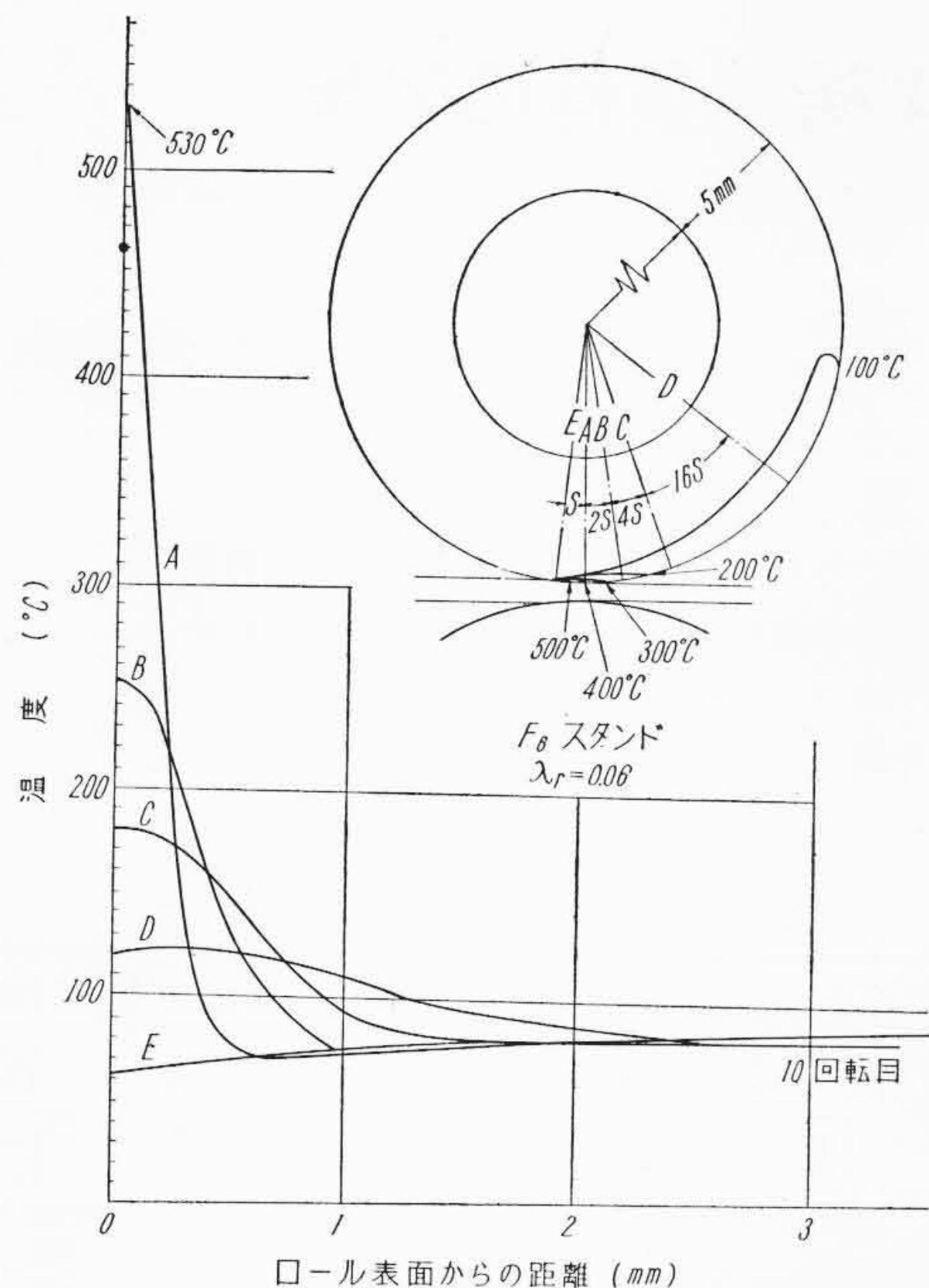


第 14 図 圧延時におけるロール表面付近の温度分布

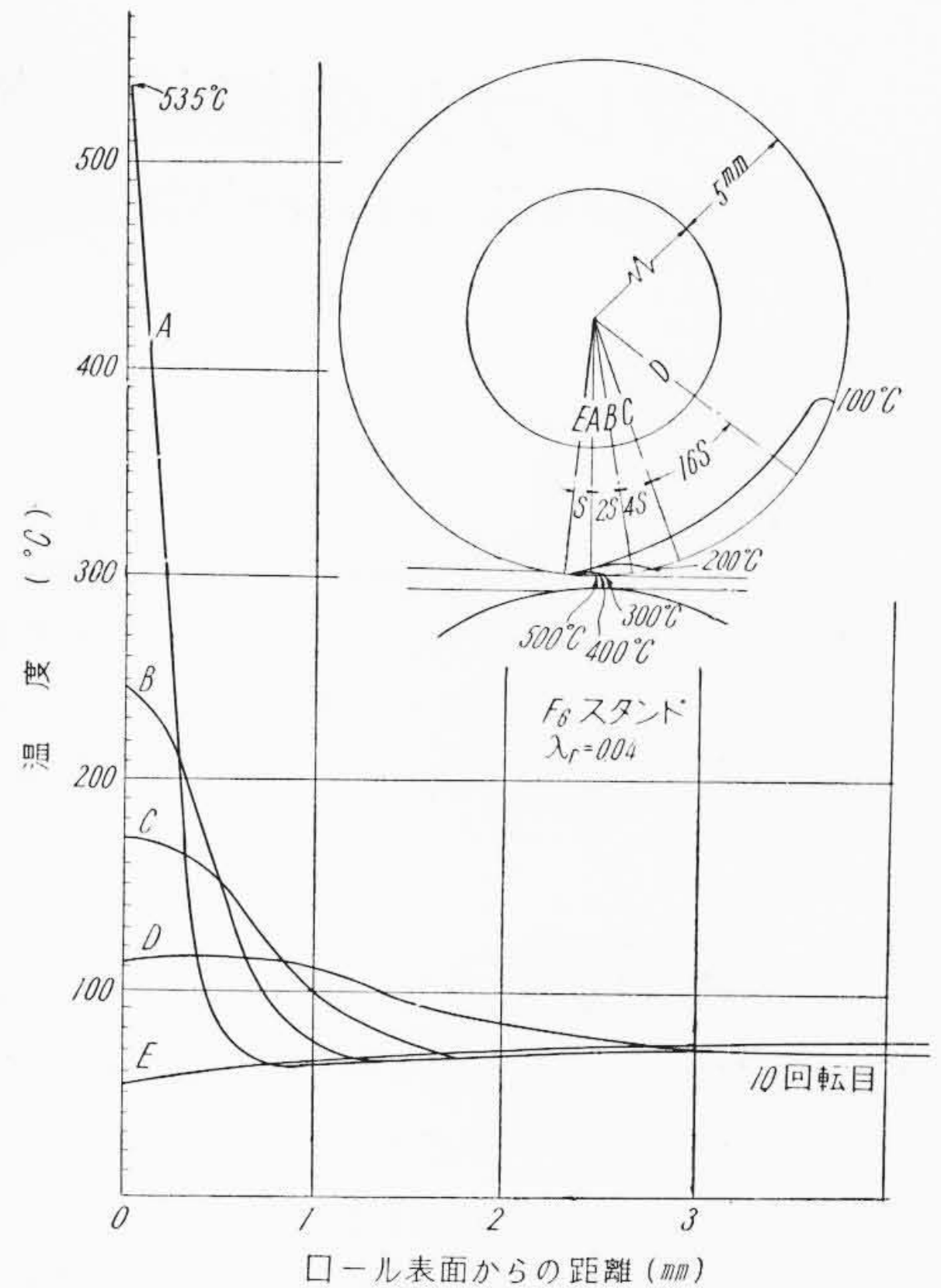
ほうが低くなった。これは、 λ_r が高いロールのほうが熱が表面から内部へ入りやすいのに反して、 λ_r が低いロールでは熱の伝わりがおそく、ロール表面が高温度になっても冷却水によって熱が多量外部へうばわれるためだと考えられる。またそのためにロール表面付近の温度こう配は λ_r が低いロールのほうが急になる。

6.2 F1 スタンドにおいて圧延材通過後のロール表面温度

圧延材がワーキングロールの間を通過したあとは、熱はロール表面から外部に失われるとともに、漸次ロール中心部へと伝わってゆくためにロール表面付近の温度は低くなってゆく。第 11 図の結果でロール内部の温度分布がほぼ平衡になったときを初期条件として、圧延材通過後のロール表面温度を計算した結果を第 13 図に示す。第 13 図の結果よりロールが 40 回転後にはロール表面温度はほぼ一定の温度に低下することが明らかになった。その時のロール内部の推定温度分布を第 13 図上に示す。



第15図 圧延時におけるロール表面付近の温度分布



第16図 圧延時におけるロール表面付近の温度分布

6.3 F1 スタンドにおいて圧延速度が速くなった場合

将来、コイルの生産性が高まることを考えて F1 スタンドの圧延速度が、現在(1.7 m/s)よりも2倍(3.4 m/s)に速くなった場合のロール表面付近の温度分布の計算を試みた。第14図にその結果を示す。圧延速度の増加により摩擦熱による発熱が増し、かつ水冷される時間が短くなるためにロール表面温度はかなり上昇することが明らかになった。またロール表面から約10 mm 内部の極大温度は約135°Cになり現在よりも約35°C高くなることが明らかになった。

6.4 F6 スタンドのロール表面温度

F6 スタンドを通る圧延材の温度は850°Cで F1 スタンドに比べて150°C低くなっているが、圧延速度が約4倍以上速くなるために、圧延材とロール表面との間に発生する摩擦熱は著しく増加する。F6 スタンド $\lambda_r = 0.06$ の場合の温度分布を第15図に、 $\lambda_r = 0.04$ の場合の温度分布を第16図に示す。その結果、F6 スタンドのワークロールの表面の高温取れん温度は $\lambda_r = 0.06$ の場合には約530°C、 $\lambda_r = 0.04$ の場合には約535°Cとなった。いずれも F1 スタンドに比べて100°C以上低くなることが明らかになった。また F6 スタンドにおいても、 λ_r の低いロールの表面温度は λ_r の高いロールに比べて高くなるが、その差は小さい。ロール表面の最低温度は $\lambda_r = 0.06$ の場合には約65°C、 $\lambda_r = 0.04$ の場合には約56°Cになった。F6 スタンドのロール表面の最低温度が F1 スタンドに比べて高いのは F6 のロールの回転速度が速いためにロール表面の水冷時間が短くなり、ロール表面から失われる熱量が少なくなるためによると考えられる。

ロール表面から約10 mm 内部の極大温度は $\lambda_r = 0.06$ の場合には約85°C、 $\lambda_r = 0.04$ の場合には約75°Cでいずれも F1 スタンドに比べて低いことが明らかになった。

7. 結 言

まず、某製鉄所仕上げの各スタンドに使用されるロールの熱的条件を明らかにし、次に F1 と F6 スタンドのワークロール表面温度を HIPAC-101 で計算した結果を報告した。すなわち、

- (1) 仕上げスタンドにおいて、ワークロール表面の上昇温度はスタンドが進むほど低下する。
- (2) ロール表面と冷却水との間の熱伝達係数を $0.332 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ にとることが妥当である。
- (3) 圧延中のロール表面付近の温度は、水冷条件によって大きく左右される。
- (4) 圧延材通過中は F1 スタンド、F6 スタンドとも λ_r の低いロールのほうが λ_r の高いロールに比べて表面温度は高くなるが、その差はわずかである。ロール内部の温度は反対に λ_r が低いほうが低くなる。また、ロール表面付近の温度こう配は λ_r が低いほうが急になる。ロールの温度については第11～16図を参照のこと。
- (5) 圧延材通過後、ロールが40回転もすれば、ロール表面温度はほぼ一定の温度に下る。
- (6) 同スタンドで圧延速度が速くなるとロール表面付近の温度は前よりも上昇するが、水冷効果をよくすれば温度上昇を下げる事が可能と考えられる。

などのことが明らかになった。なお、その後実際に圧延されたロール表面組織を調査し、種々検討したところ表面温度の計算結果がほぼ正しいことが認められた。

本研究を遂行するに当たり、終始ご鞭撻賜った、日立金属工業株式会社宮下常務、HIPAC-101 の使用の便宜を計っていただいた日立製作所中央研究所島田氏、プログラムの作製ならびに計算機の運転に多くの助言とご協力をいただいた同所、高橋、高德両氏に厚くお礼を申しあげる。

参 考 文 献

- (1) 河原：日立評論 33, No. 3 (昭 26-3)
- (2) J. M. Beneti: Iron & Steel Eng., June, 45(1954)
- (3) A. Mathea: Stahl u. Eisen 78, 1383 (1958)
- (4) シャック：応用伝熱, p. 121 (昭 18, コロナ社)
- (5) 高田, 島田, 萱島：日立評論 別冊 No. 34, 3 (昭 35-2)
- (6) 関本：日立評論 別冊 No. 33, 89 (昭 34-12)