

平成3年度農林水産省補助事業

地域材住宅部材化促進総合対策事業

中層木造住宅部材開発事業

木造区画部材開発事業

報 告 書

平成4年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

平成3年度 地域材住宅部材化促進総合対策事業
中層木造住宅部材開発事業－木造区画部材開発事業報告書

目 次

1. 開発目的	.....	1
2. 実施内容	.....	2
3. 試験体	.....	2
4. 試験方法	.....	6
5. 試験結果	.....	18
6. まとめと今後の検討課題	.....	28
7. 参考資料	.....	67

1. 開発目的

木造住宅の防火性を向上するためには、壁、床、天井部材の防火性能を高め、同時に開口部材の防火性能を高めることが、火災に際して、火災を区画内に長く閉じ込めて他区画からの避難を容易にすることがこれまでの開発研究で明らかにされてきた。部材の開発研究は、昭和54年度から実施した木質材料防・耐火性能開発事業によって、通常の在来軸組木造住宅の部材を想定した壁構造、天井－床構造、木質開口部材等の加熱試験を行って、防火性の開発を行った。又、昭和63年度から実施した住宅部材安全性能向上開発事業においては、在来軸組工法の真壁の加熱試験を行い、防火性能向上の開発研究を実施した。この間、住宅部材安全性能向上事業においては、昭和60年度に2階建て在来木造住宅の実大火災実験、昭和61年度には在来木造住宅の3階建長屋形式の実大火災実験を行い、各部材開発研究の成果として得られた防火安全性の仕様を実大規模で検証してきた。これらの結果は同時に実施された建設省総合技術開発プロジェクト「新木造建築技術の開発」の技術資料の一部となり、昭和62年における建築基準法の改正により、木造3階建戸建て住宅及び長屋住宅が準防火地域に建築できるようになった。

一方、日米林産物協議においては、平成3年度（1991年度）中に建築面積1000㎡以内、平成4年度（1992年度）中に1000㎡～3000㎡以内の木造三階建共同住宅を建築する場合の技術基準を作成することが合意され、建設省緊急研究「木造共同住宅の防火性能向上技術の開発」が平成3年度から実施されることとなった。

本開発研究では、中層木造住宅として三階建の在来軸組工法住宅を想定し、内・外装材に木材や木質材料を用いた場合の耐火性能開発を目的として実施することとした。

本開発研究を行うために以下の委員会を設置した。

主査	中村 賢一	建設省建築研究所防火材料研究室長
委員	上杉 三郎	農林水産省森林総合研究所
協力委員	往西 弘司	朝日ウッドテック株式会社開発部
協力委員	大谷 弘一	ヤマハ株式会社木材事業部技術開発部
林野庁	春川 真一	林野庁林産課住宅資材技術班
事務局	牧 勉	(財)日本住宅・木材技術センター試験研究部長
事務局	山田 誠	(財)日本住宅・木材技術センター試験研究所主任研究員

2. 実施内容

木造三階建て共同住宅の部材開発実験が、建設省緊急研究の一環として木造の耐火構造を想定した実験が行われている。この実験では、鉄骨プレハブ工法、木質プレハブ工法、在来軸組工法、枠組壁工法の壁部材並びに天井・床部材について載荷しながら加熱試験を実施し、耐火性能として30分、45分、60分等の仕様を明らかにしようとしている。これらの開発実験では、内装材に無機系の防火被覆材が使用され、工法と共に材料の種類や厚み等の組合せによる耐火性能が検討されている。従って、内装材や外装材に木材や木質材料を用いた開発研究は現在のところ行われてはいない。よって、本開発実験では、内装材及び外装材に木製・木質材料を用いた壁構造部材を製作し、建設省総合技術開発プロジェクト「新木造建築技術の開発」並びに建設省緊急研究「木造共同住宅の防火性能向上技術の開発」で提案されている載荷しながら加熱試験を行う試験方法を用いて耐火加熱試験を実施し、木質材料を用いた区画部材の耐火性能の把握を行うと同時に60分の耐火性能を開発目標として試験体仕様を検討し、開発を行うこととした。

3. 試験体

試験体は、内装側、外装側共大壁仕様とし、外装側の基準としてモルタル塗り構造または硬質木片セメント板張り構造、内装側の基準としてラスボード下地石膏プaster仕上げ構造とした。木材及び木質材料は内装側または外装側に用いた。試験体の仕様を表3-1に示す。

試験体寸法：幅 1,820mm、高さ 2,730mm

柱寸法 : 105X105mm (試験体中央に設ける)

試験体数 : 内・外装大壁6種類9体

* : 柱と上下の枠材とは切り離す。

試験体概要図を図3-1に、断面詳細図を図3-2及び図3-3に示す。

各試験体の仕様は、以下の様である。

1) 試験体No.1 試験体記号：E1-RB7+PL8(C)

柱寸法 : 105×105mm

間柱寸法 : 45×105mm

内壁側 : ラスボード 7mm下地、石膏プaster 8mm塗り

外壁側 : 構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板12mm張り

壁内 : グラスウール 10K 50mm

両面大壁仕様

柱・間柱 : ベイツガ

2) 試験体No.2 試験体記号：EE-KP7.5+KS12(C)

柱寸法 : 105×105mm

間柱寸法 : 45×105mm

内壁側 : 構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板12mm張り

外壁側 : ラスボード 7mm下地、石膏プラスター 8mm塗り

壁内 : グラスウール 10K 50mm

両面大壁仕様

柱・間柱 : ベイツガ

3) 試験体No.3 試験体記号：EI-NP9+GB15(C)

柱寸法 : 105×105mm

間柱寸法 : 45×105mm

内壁側 : 難燃合板 9mm下地、せっこうボード15mm張り

外壁側 : 構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板12mm張り

壁内 : グラスウール 10K 50mm

両面大壁仕様

柱・間柱 : ベイツガ

4) 試験体No.4 試験体記号：EE-KP7.5+KS18(C)

柱寸法 : 105×105mm

間柱寸法 : 45×105mm

内壁側 : 構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板18mm張り

外壁側 : 難燃合板 9mm下地、せっこうボード15mm張り

壁内 : グラスウール 10K 50mm

両面大壁仕様

柱・間柱 : ベイツガ

5) 試験体No.5 試験体記号：EI-GB15+NP9(C)

柱寸法 : 105×105mm

間柱寸法 : 45×105mm

内壁側 : せっこうボード15mm下地、難燃合板 9mm張り

外壁側 : 構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板12mm張り

壁内 : グラスウール 10K 50mm

両面大壁仕様

柱・間柱 : ベイツガ

6) 試験体No.6 試験体記号：EI-NP9+JW24(C)

柱寸法 : 105×105mm

間柱寸法 : 45×105mm

内壁側 : 難燃合板 9mm下地、準不燃木材24mm張り (本実加工、横張り)

外壁側 : 構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板12mm張り
壁 内 : グラスウール 10K 50mm
両面大壁仕様
柱・間柱 : ベイツガ

7) 試験体No.7 試験体記号 : EI-PW9+JW24(C)

柱寸法 : 105×105mm
間柱寸法 : 45×105mm
内壁側 : 普通合板 9mm下地、準不燃木材24mm張り (本実加工、横張り)
外壁側 : 構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板12mm張り
壁 内 : グラスウール 10K 50mm
両面大壁仕様
柱・間柱 : ベイツガ

8) 試験体No.8 試験体記号 : EE-KBN9+JW18(C)

柱寸法 : 105×105mm
間柱寸法 : 45×105mm
内壁側 : せっこうボード12mm2枚重ね張り
外壁側 : 繊維混入セメントけい酸カルシウム板 9mm下地
準不燃木材18mm張り
壁 内 : グラスウール 10K 50mm
両面大壁仕様
柱・間柱 : ベイツガ

9) 試験体No.9 試験体記号 : EE-LM20(B)

間柱寸法 : 30×81mm
中央部1本、左右455mm位置は2本
内壁側 : 普通合板 4mm下地、せっこうボード15mm張り
外壁側 : 普通合板 5.5mm下地、ラスモルタル20mm塗り
壁 内 : グラスウール 10K 50mm
両面大壁仕様

表3-1 試験体仕様

No.	試験体記号	加熱側材料	非加熱側材料	壁内断熱材	加熱面
1	EI-RB7+PL8(C)	ラスボード 7mm下地 石膏 plaster 8mm	構造用合板7.5mm 下地 硬質木片セメント板12mm	グラスウール 10K 50mm	内壁側
2	EE-KP7.5+KS12(C)	構造用合板7.5mm 下地 硬質木片セメント板12mm	ラスボード 7mm下地 石膏 plaster 8mm	グラスウール 10K 50mm	外壁側
3	EI-NP9+GB15(C)	難燃合板 9mm下地 せっこうボード15mm	構造用合板7.5mm 下地 硬質木片セメント板12mm	グラスウール 10K 50mm	内壁側
4	EE-KP7.5+KS18(C)	構造用合板7.5mm 下地 硬質木片セメント板18mm	難燃合板 9mm下地 せっこうボード15mm	グラスウール 10K 50mm	外壁側
5	EI-GB15+NP9(C)	せっこうボード15mm 下地、難燃合板 9mm	構造用合板7.5mm 下地 硬質木片セメント板12mm	グラスウール 10K 50mm	内壁側
6	EI-NP9+JW24(C)	難燃合板 9mm下地 準不燃木材 24mm	構造用合板7.5mm 下地 硬質木片セメント板12mm	グラスウール 10K 50mm	内壁側
7	EI-PW9+JW24(C)	普通合板 9mm下地 準不燃木材 24mm	構造用合板7.5mm 下地 硬質木片セメント板12mm	グラスウール 10K 50mm	内壁側
8	EE-KBN9+JW18(C)	繊維混入セメントけい酸 カルシウム板 9mm下地 準不燃木材 18mm	せっこうボード12mm 2枚張り	グラスウール 10K 50mm	外壁側
9	EE-LM20(B) (PW5.5mm+)	合板 5.5mm下地 ラスモルタル20mm塗り	合板 4mm下地 せっこうボード15mm	グラスウール 10K 50mm	外壁側

試験体寸法 W:1,820mmXH:2,730mm 加熱面：内壁側 5体、外壁側 4体 計9体

記号 EI：外壁構造の内壁側加熱、EE：外壁構造の外壁側加熱、

(B)：木質プレハブ工法、(C)：在来軸組工法

4. 試験方法

4.1 加熱方法：建設省総合技術開発プロジェクト「新木造建築技術の開発」及び建設省緊急研究「木造共同住宅の防火性能向上技術の開発」提案の一木造部材の耐火加熱試験方法案一による載荷加熱試験を行う。

- 加熱曲線：ISO-834による耐火加熱曲線
- 載荷荷重：加熱側から見た柱の中央部分（柱厚さの中心部分）に、柱の座屈長期許容応力度に相当する加力を行う。載荷加熱装置を図4.1-1に、載荷加熱位置を図4.1-2に示す。試験体の柱の寸法は105x105mm、荷重を受ける柱の長さは273cmとなるので、下に示す計算によって載荷荷重を算出した結果、柱部分に約2.9トンの圧縮力を載荷することとした。
又、木質プレハブ工法の外壁については、設計荷重を基に計算し、約4.5トンの圧縮力を載荷した。

- 載荷荷重の計算（在来軸組工法）

l_x	10.5cm	座屈方向の柱せい
A (cm ²)	110.25	断面積
$i = l_x / 3.46$	3.035	長方形断面
$\lambda = l_k / i$	89.95	細長比 ($l_k = 273\text{cm}$)
$\eta (= 1.3 - 0.01 \lambda)$	0.40	座屈低減係数 ($30 < \lambda \leq 100$)
$l_{fk} (= \eta \cdot l_{fc})$	26.0	許容座屈応力度 ($l_{fc} = 65\text{Kg}$)
$N (= l_{fk} \cdot A)$	2.87 トン	軸方向圧縮力

- 木質プレハブ工法の載荷荷重は、設計荷重を用い、4.5トンとした。

4.2 加熱時間の設定

加熱は、非加熱側に炎が表れるか、柱の座屈により載荷が出来なくなるまでとした。

4.3 炉内温度の測定

- 試験体面から10cmの位置に径1.6mmのCA熱電対を先端を露出させ、試験体面に沿って10cm以上となるように設置した。
- 設置位置は、炉内に均等に9点配置した。
- 炉内加熱温度測定位置を図4.3-1に示す。

4.4 試験体の温度測定

加熱試験中の試験体の温度変化を下記に示す位置で測定した。温度測定位置を図4.4-1及び図4.4-2に示す。

- 加熱側材料の裏面温度（測定点番号：1～6）
- 断熱材表面温度（加熱側下地材料裏面温度）（測定点番号：7～12）
- 柱・間柱表面温度（測定点番号：13～21）
- 断熱材裏面温度（非加熱側材料表面温度）（測定点番号：22～27）
- 非加熱側下地材裏面温度（測定点番号：28～33）

- 試験体裏面温度（測定点番号：34～39）
- 移動熱電対温度（測定点番号：40）
（裏面に亀裂などが生じた場合は、ディスク熱電対で隙間温度を測定する。）

4.5 試験体の載荷荷重及び変位置測定

- 載荷荷重：ロードセル2台により計測。荷重は手動式のオイルジャッキを用いた。
- 軸方向変位：上部3点（測定点番号53～55）下部3点（測定点番号56～58）、計6点
- 面外変位：中心線上（柱部分）（測定点番号59～61）3点
変位測定位置を図4.4-1に示す。

4.6 炉内圧力の測定

- 加熱中の炉内圧力を測定した。測定は、(株)サヤマトレーディングの微差圧トランスデューサー モデル264（SETRA社製）、 $\pm 6.35\text{mmH}_2\text{O}$ （出力0～5VDC）を用い、バーチカルペンレコーダー TYPE 3056（YOKOGAWA）に記録した。

4.7 観察記録

- 写真・VTR撮影：加熱中の試験体の変化を記録するために写真撮影及びVTRにより記録した。また、同時に加熱側の状況や非加熱側の状況を目視により観察記録した。

4.8 炭化測定

- 加熱終了後の柱・間柱の炭化深さを測定した。測定は柱・間柱の4等分した3箇所について行った。

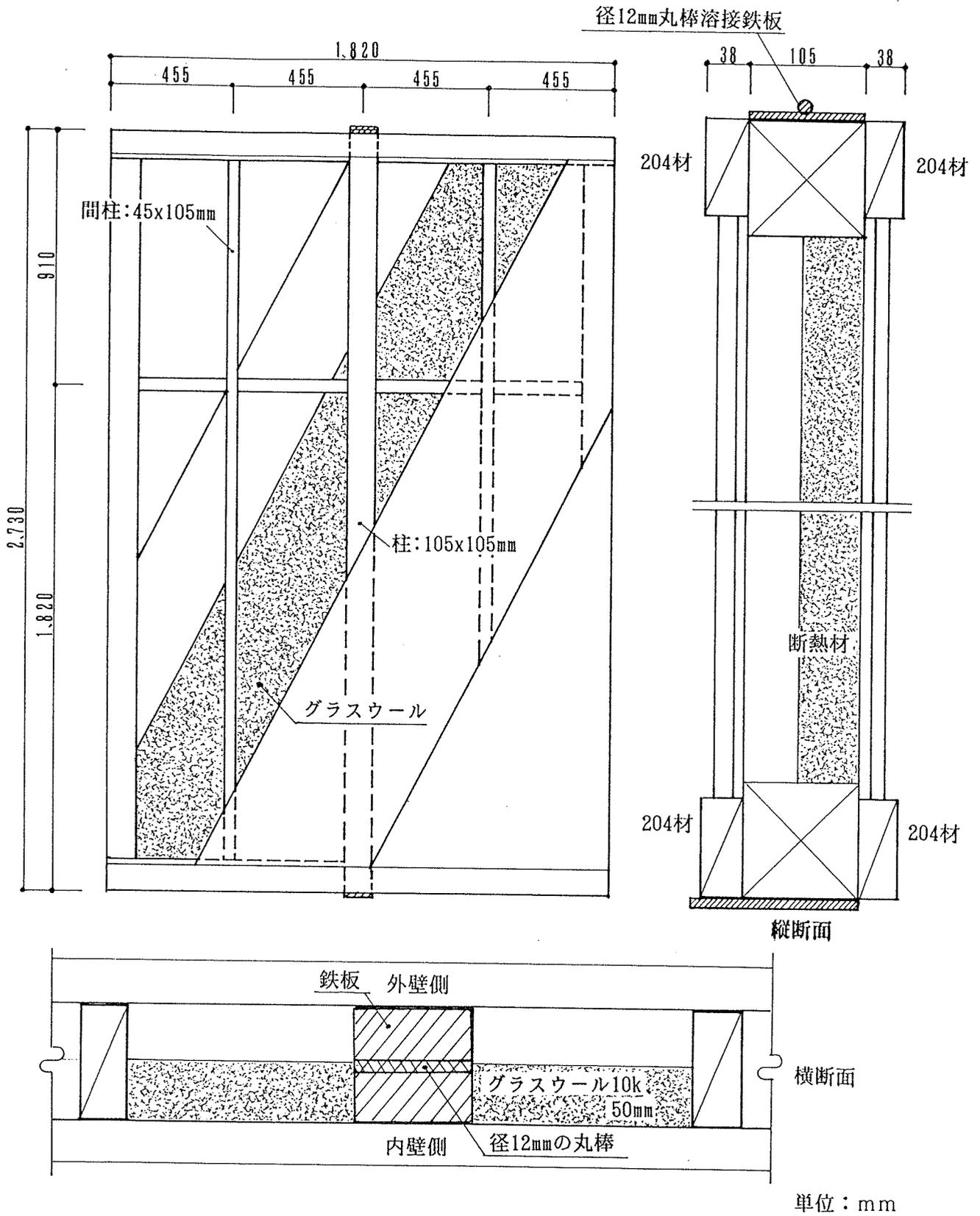
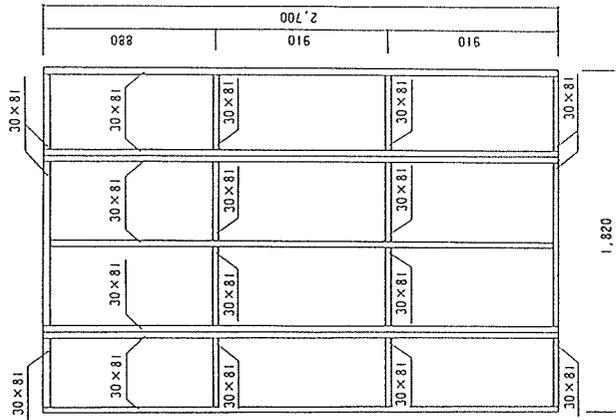
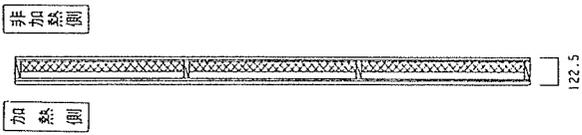


図 3-1 (1) 試験体概要図 (試験体No.1~8)

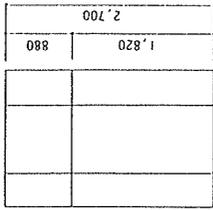
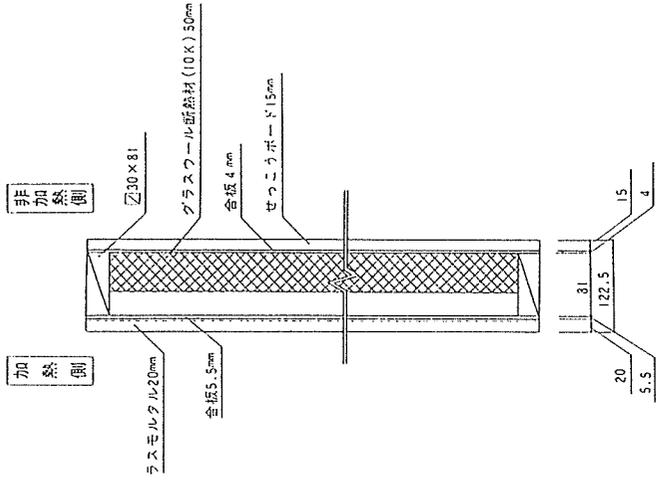
壁パネル構成図 1/20



鉛直断面図

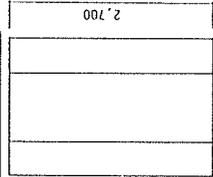


水平断面詳細図 1/5



455 910 455
合板 4mm

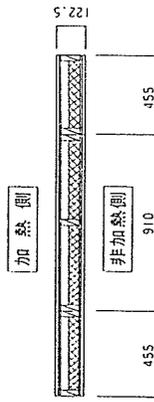
非加熱側下張り
面材割付図 1/50



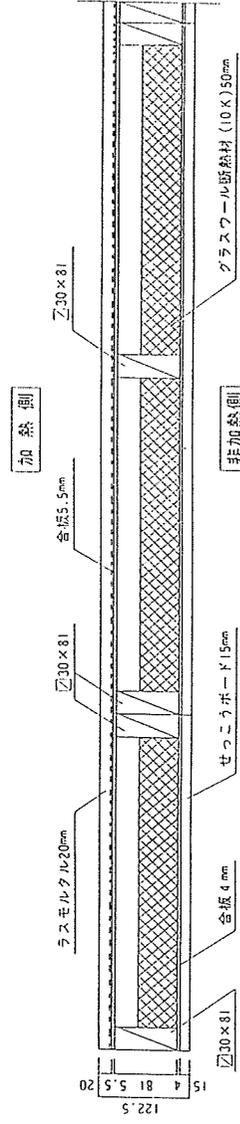
455 910 455
せつこうボード 15mm

非加熱側上張り
面材割付図 1/50

断面図 1/20

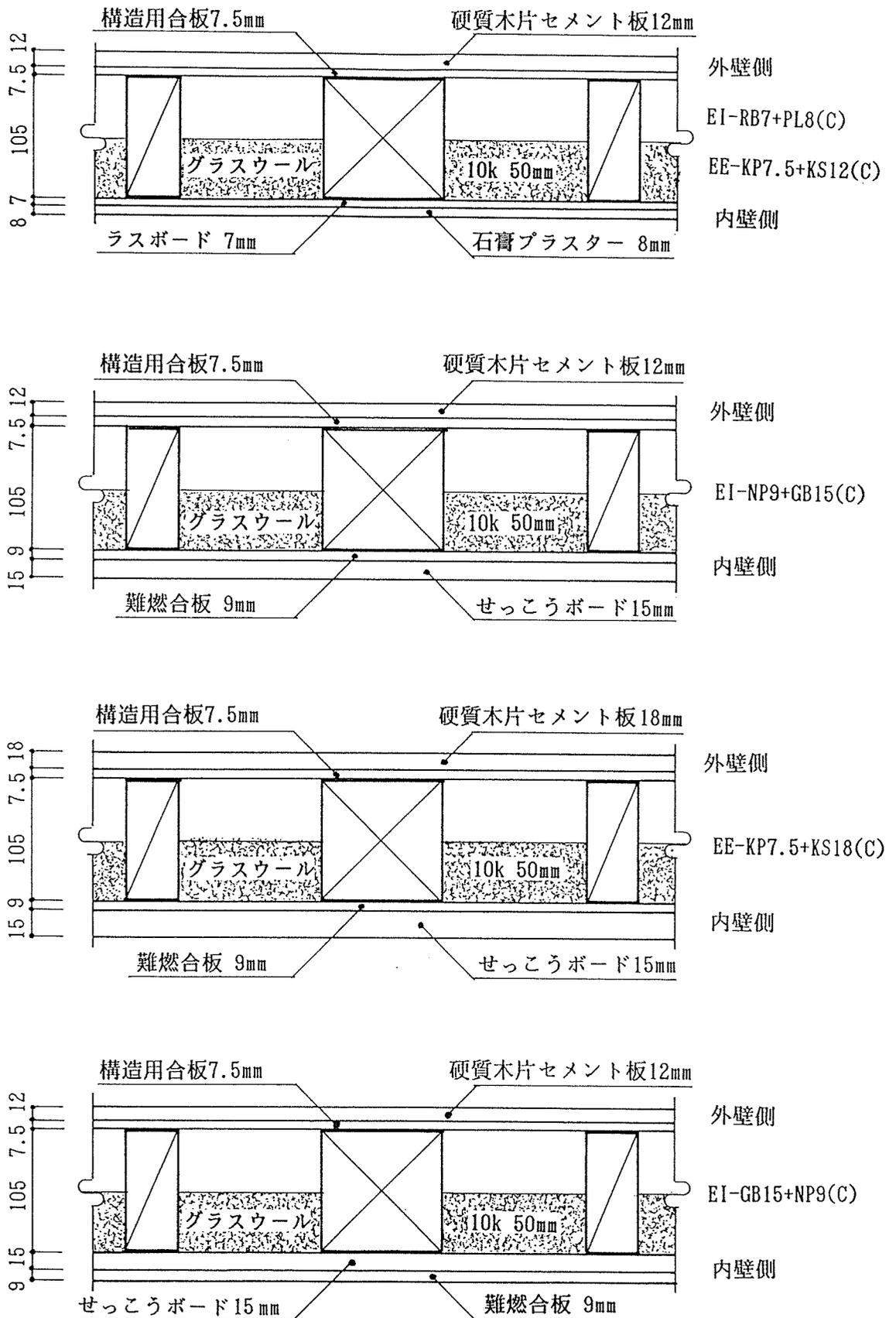


断面図 1/20



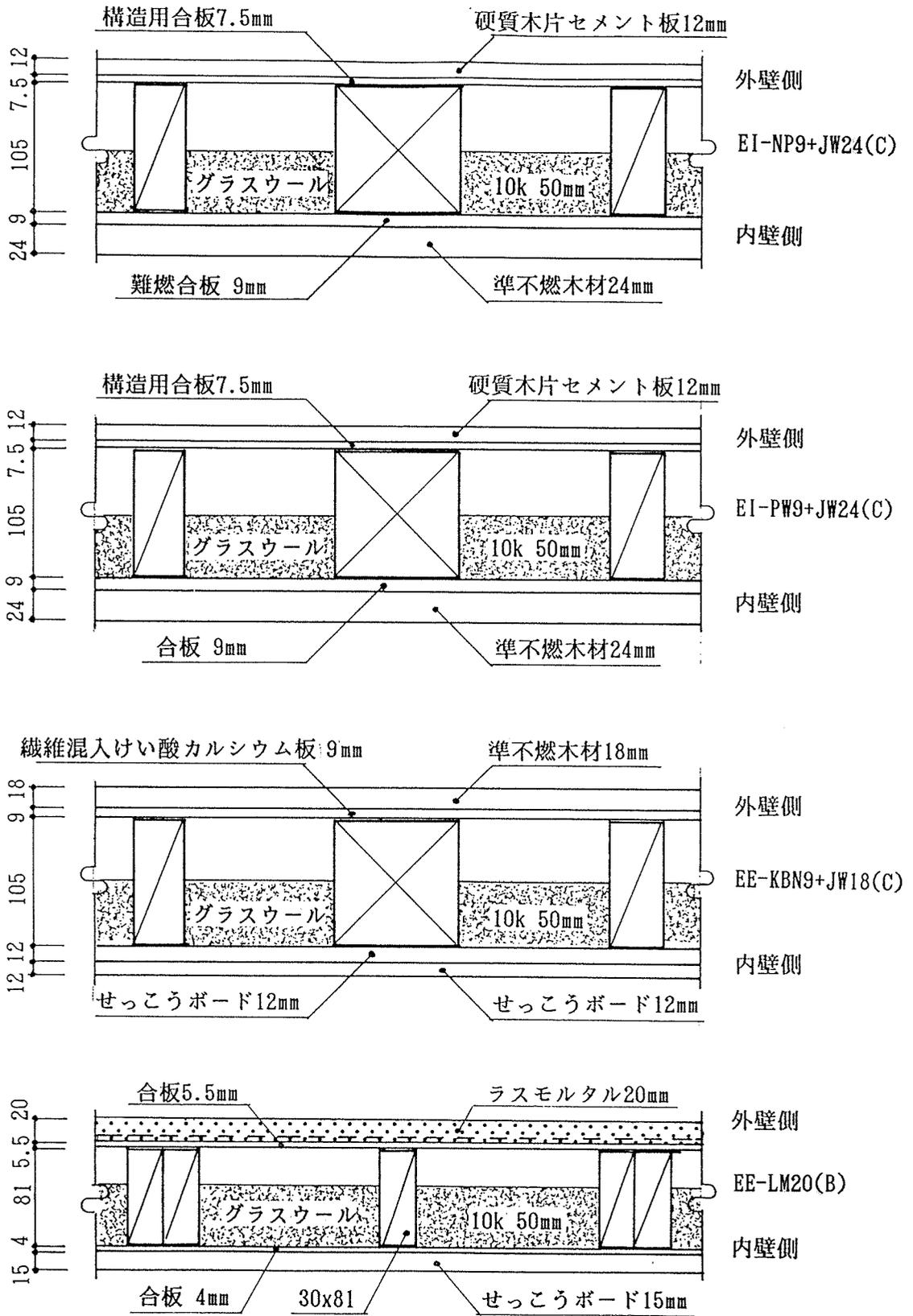
鉛直断面詳細図 1/5

図 3-1 (2) 試験体概要図 (試験体No.9)



単位：mm

図 3-2 試験体断面詳細図 (試験体No.1~5)



単位：mm

図 3-3 試験体断面詳細図 (試験体No.6~9)

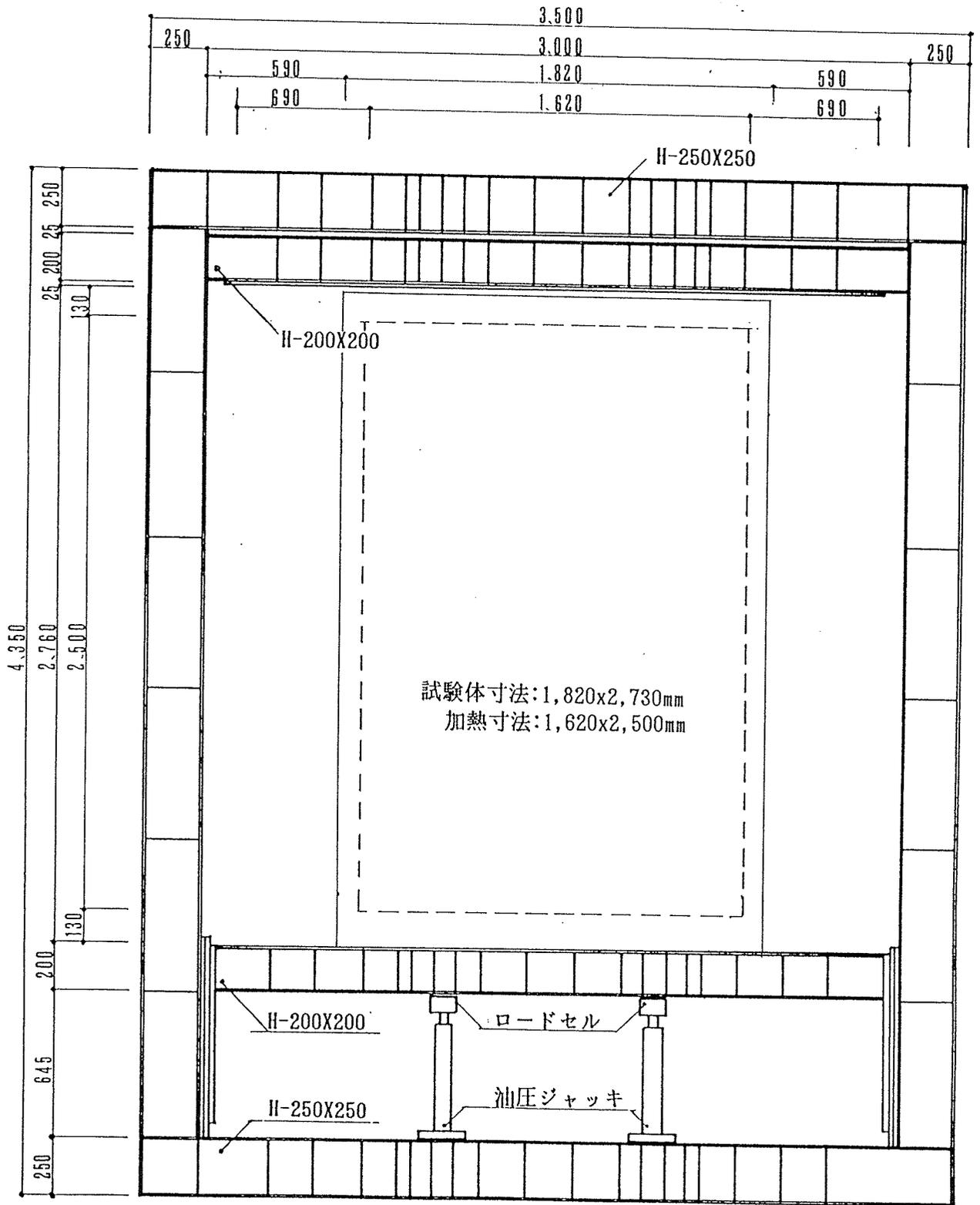


図 4.1-1 載荷加熱装置概要 (正面図)

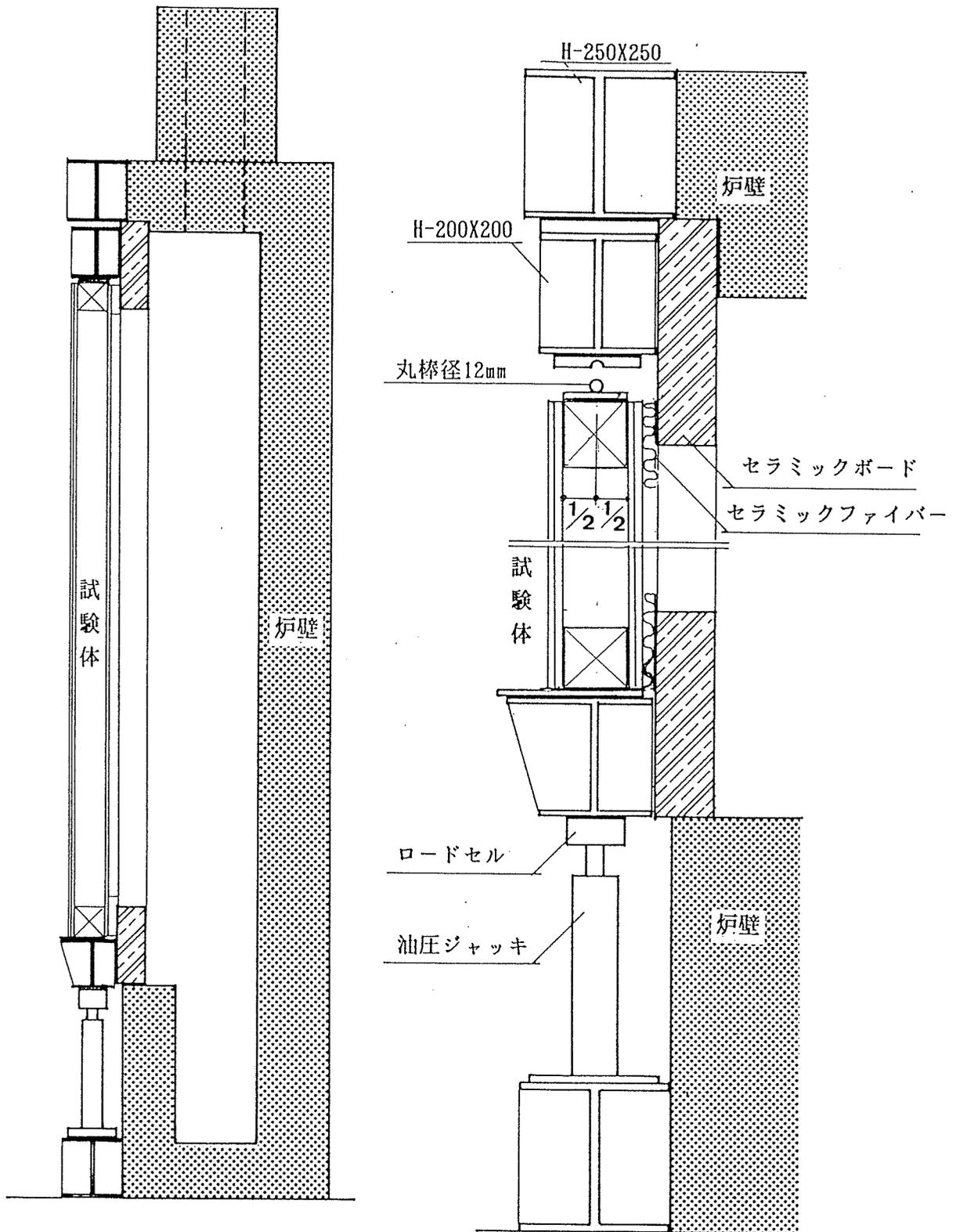
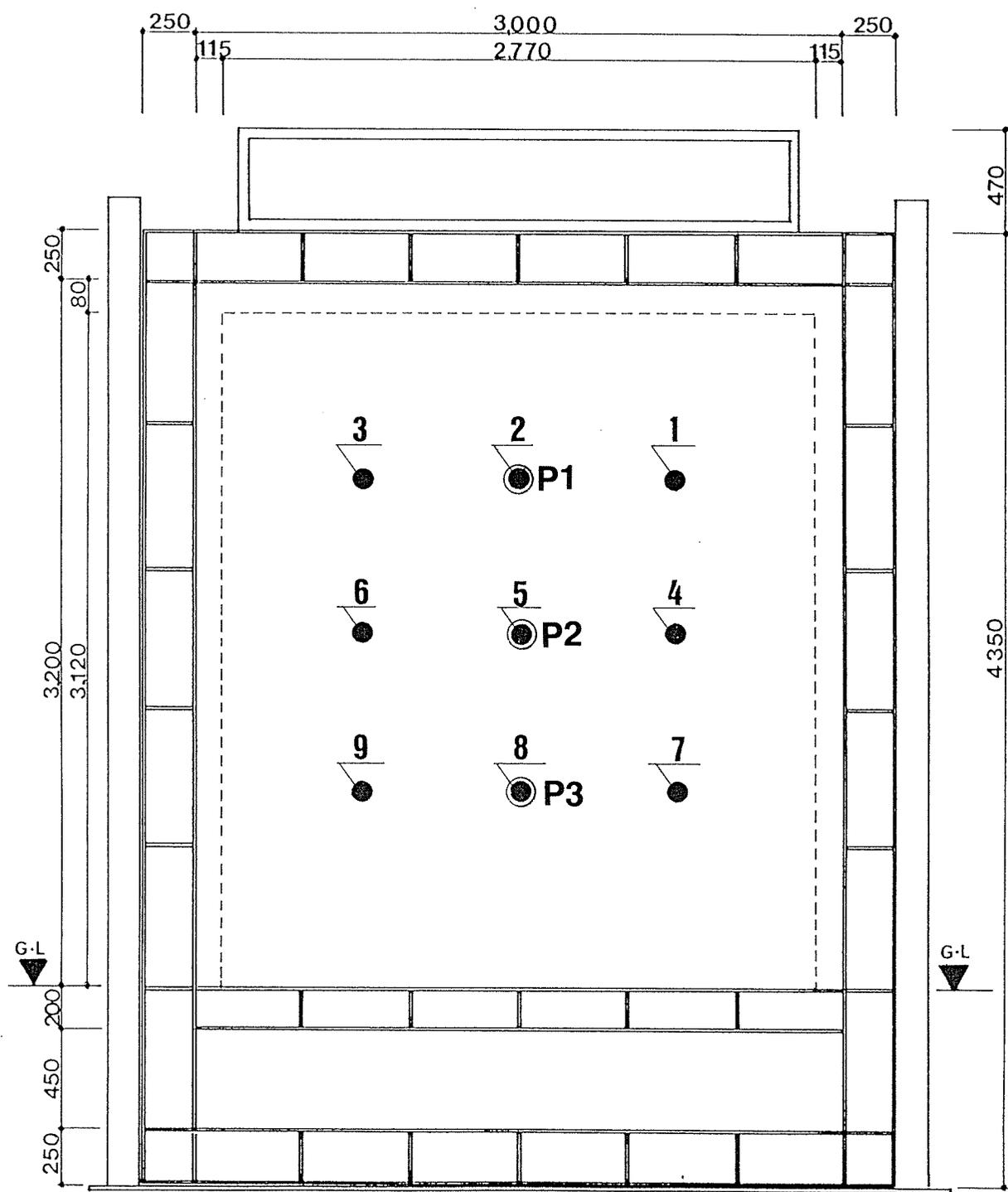


図 4.1-2 載荷加熱装置概要(側面図)



1 ~ 9 : 炉内温度測定位置 (試験体面から10cm位置)
 径1.6mm のC A(K) 熱電対、先端露出
 P 1 ~ 3 : 炉内圧力測定位置
 (P1:上3/4、中央1/2、下1/4)

単位 : mm

図 4.3-1 炉内加熱温度測定位置

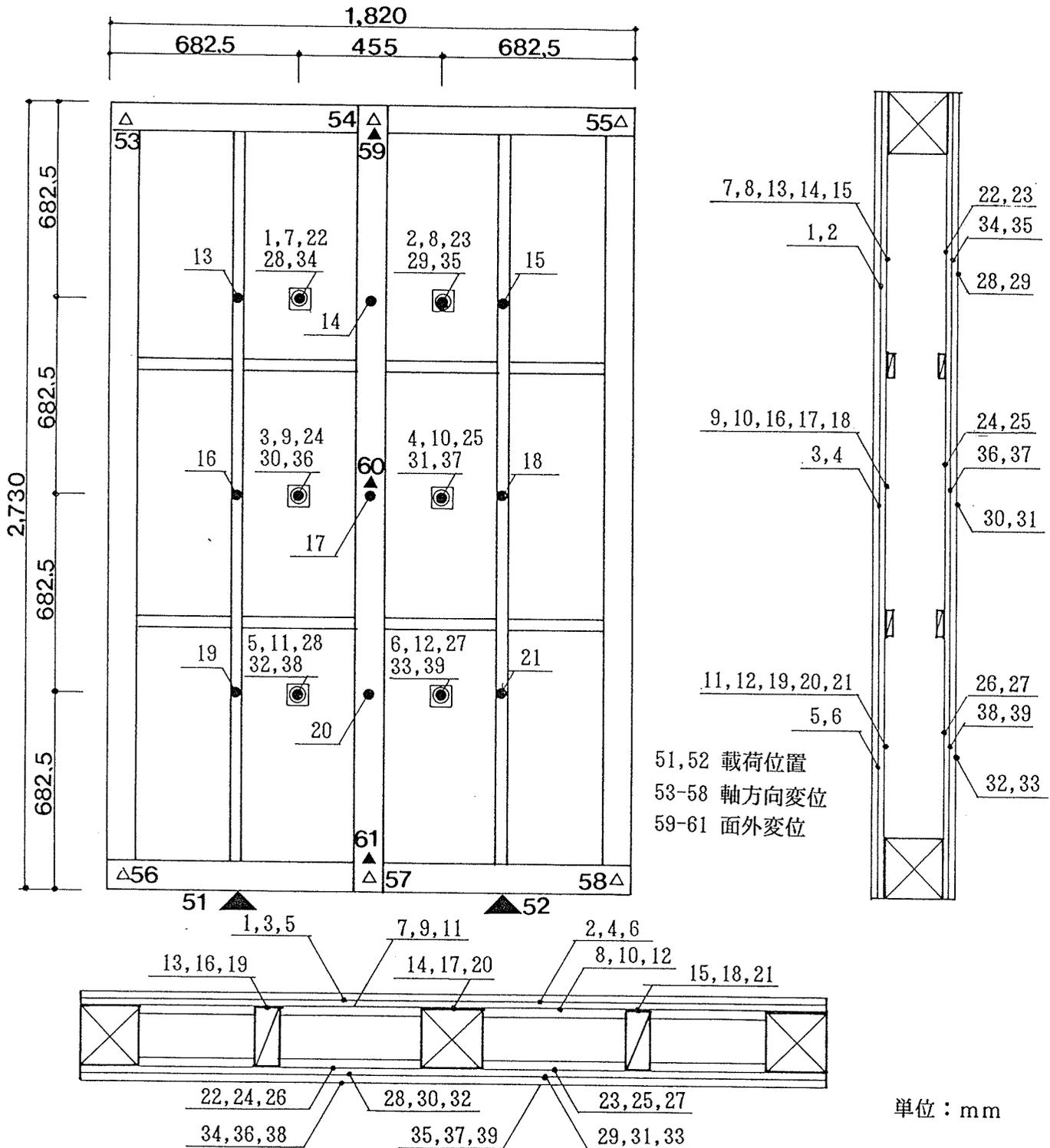
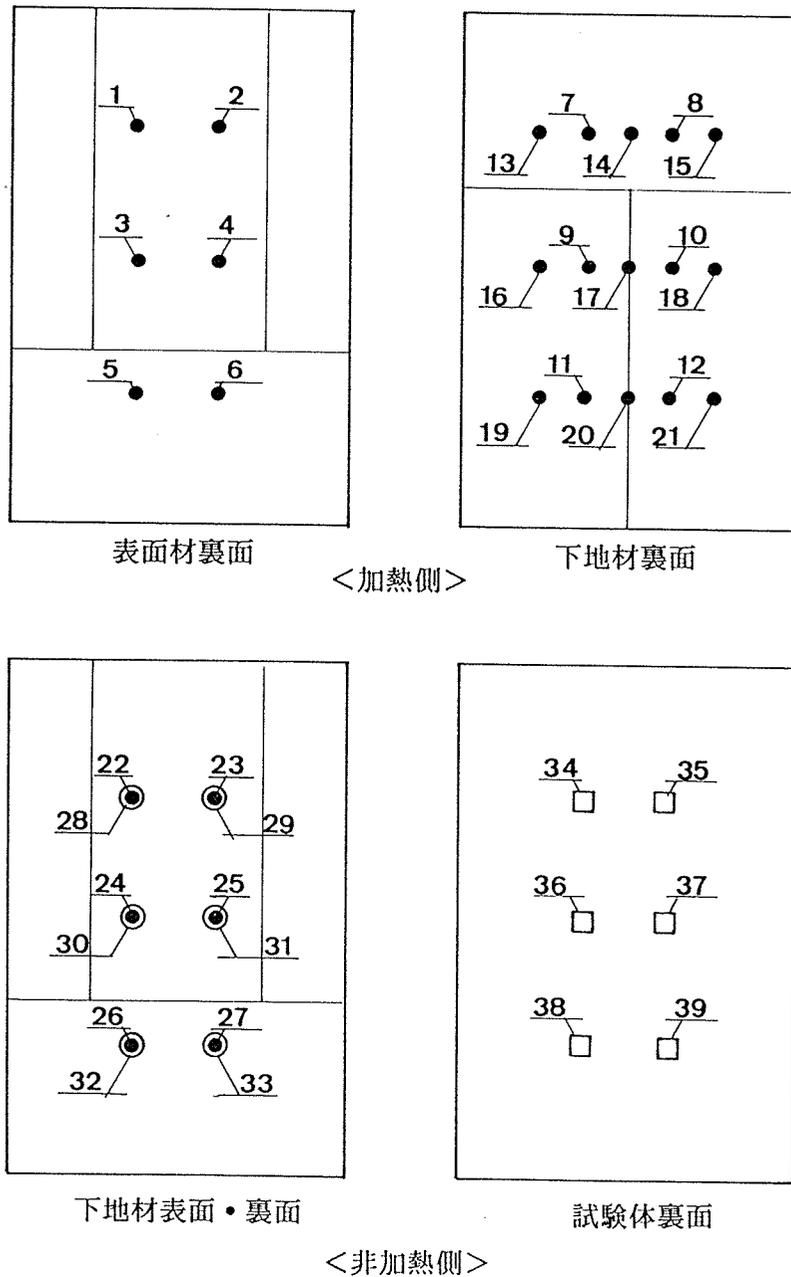


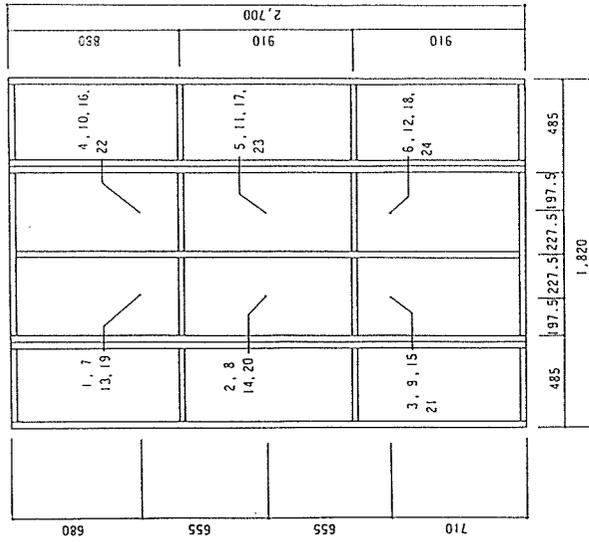
図 4.4-1 (1) 試験体温度測定位置 (試験体No.1~8)



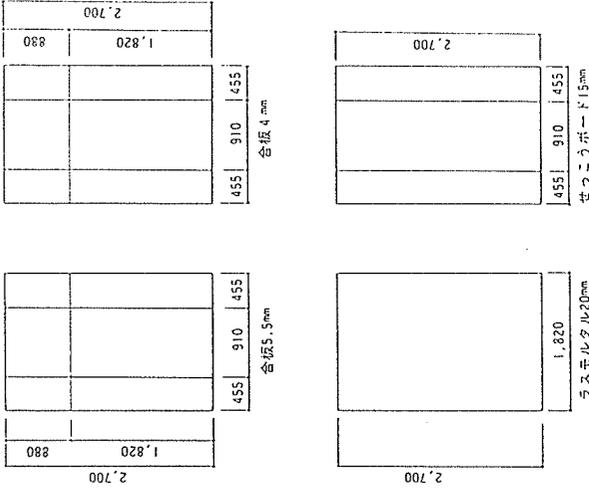
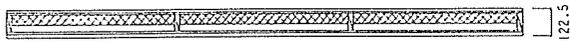
- 1～ 6：加熱側材料裏面
 7～12：加熱側下地材裏面（断熱材表面）
 13～21：柱・間柱表面
 22～27：非加熱側材料表面（断熱材裏面）
 28～33：非加熱側下地材裏面
 34～39：試験体裏面（杉板表面）

図 4.4-1 (2) 試験体温度測定位置 (試験体No.1~8)

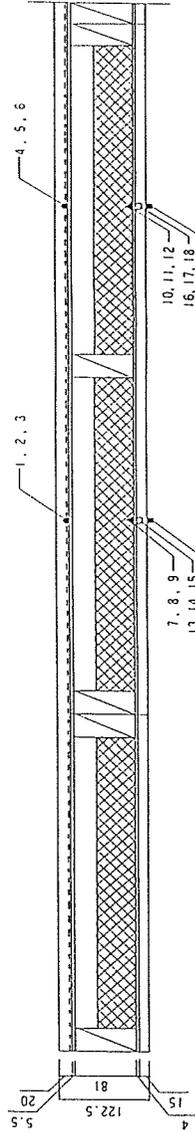
熱電対取付位置図



鉛直断面図



面材等割付図



加熱側

断面図 1/20



鉛直断面詳細図 1/5

記号	熱電対番号	名称
●	1-6	加熱側(ラスモルタル20mm)と下張り合板5.5mmの界面温度
▲	7-12	加熱側グラスウール断熱材と合板4mmとの界面の温度
□	13-18	非加熱側合板4mmとセッコウボード15mmとの界面の温度
■	19-24	非加熱側セッコウボード15mmの表面温度

図 4.4-2 試験体温度測定位置 (試験体No.9)

5 載荷加熱試験結果

5.1 温度と変化状況

(1) EI-RB7+PL8(C)、柱寸法105×105mm、両面大壁仕様、載荷荷重:2.9t

加熱面側 : ラスボード 7mm下地、石膏プラスター 8mm塗り (内装側)

非加熱面側: 構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板12mm張り (外装側)

加熱開始後加熱面側では、19分30秒頃に石膏プラスター表面に亀裂が発生し、その部分から炎が出現した。21分30秒頃には柱に着炎した。27分頃には先程とは別の部分から亀裂が発生し、その後亀裂の幅や大きさが広がっていった。41分頃にはボード厚がわかるほど亀裂部分が膨らみ、43分頃には急激に膨らんでいった。そして52分頃には約15mm、64分頃には約20mmとその膨らみ幅が大きくなっていった。

一方非加熱面側では、32分頃にボードを取り付けるための釘から亀裂が延び、33分頃には中央目地部から水もれが現れた。36分頃からは中央目地部が膨らんでいき、44分頃には白煙が発生し、その後白煙が広がっていった。56分頃には目地の交差部分から白煙が少々発生した。そして試験体中央部のたわみが大きくなり載荷が困難になってきたため、69分に加熱を終了した。

加熱側石膏プラスターの裏面温度は、最高温度は 9分07秒頃に、平均温度は10分22秒頃に 260℃を超えた。ラスボードの裏面温度 (断熱材表面温度) は、最高温度は16分59秒頃に、平均温度は18分25秒頃に 260℃を超えた。ラスボードと柱・間柱との界面温度は、最高温度は20分54秒頃に、平均温度は23分頃に 260℃を超えた。構造用合板の表面温度 (断熱材裏面温度) は、最高温度は28分27秒頃に、平均温度は35分頃に 260℃を超えた。構造用合板の裏面温度は、最高温度は45分頃に、平均温度は59分30秒頃に 260℃を超えた。非加熱側硬質木片セメント板の裏面温度 (試験体裏面温度) は、加熱終了の69分時点の最高温度は 104℃であった。

約2.9tの載荷荷重による変位は、加熱終了の69分に軸方向では中央上部が12.9mm、面外方向では中央部分が46.5mmであった。

試験体の試験荷重と変位量を図5.1.1-1に示し、試験体各部温度の平均を図5.1.1-2に示す。

(2) EE-KP7.5+KS12(C)、柱寸法105×105mm、両面大壁仕様、載荷荷重:2.9t

加熱面側 : 構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板12mm張り (外装側)

非加熱面側: ラスボード 7mm下地、石膏プラスター 8mm塗り (内装側)

加熱開始後加熱面側では、9分頃に硬質木片セメント板表面が黒変し、続いて12分頃に白変し始めた。そして18分頃には構造用合板の中央目地部の隙間が広がり、19分30秒頃に着炎し、26分頃には上の方まで炎が広がっていった。28分頃に亀裂が発生し、30分頃には亀裂部分からの炎が広がった。39分30秒頃に石膏ボードの脱落が見られた。42分頃には構造用合板が少しめくれ上がり、70分頃に脱落が見られた。

一方非加熱面側では、63分頃に亀裂が発生し、同時に石膏プラスター表面が白変し始めた。73分頃には別の亀裂部分から白煙が発生し、その後亀裂の長さが長くなり火炎が出始めたため、80分に加熱を終了した。

加熱側硬質木片セメント板の裏面温度は、最高温度は27分08秒頃に、平均温度は28分45秒頃に 260℃を超えた。構造用合板の裏面温度（断熱材表面温度）は、最高温度は31分42秒頃に、平均温度は33分05秒頃に 260℃を超えた。構造用合板と柱・間柱との界面温度は、最高温度は32分28秒頃に、平均温度は35分49秒頃に 260℃を超えた。ラスボードの表面温度（断熱材裏面温度）は、最高温度は36分04秒頃に、平均温度は38分27秒頃に 260℃を超えた。ラスボードの裏面温度は、最高温度は50分23秒頃に、平均温度は53分33秒頃に 260℃を超えた。非加熱側石膏プラスターの裏面温度（試験体裏面）は、最高温度が72分47秒頃に 260℃を超えた。

約2.9tの載荷荷重による変位は、加熱終了の80分に軸方向では中央上部が11.7mm、面外方向では中央部分が35.9mmであった。

試験体の試験荷重と変位量を図5・1・2-1に示し、試験体各部温度の平均を図5・1・2-2に示す。

(3) EI-NP9+GB15(C)、柱寸法105×105mm、両面大壁仕様、載荷荷重:3.0t

加熱面側 : 難燃合板 9mm下地、石膏ボード15mm張り（内装側）

非加熱面側: 構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板12mm張り（外装側）

加熱開始後加熱面側では、3分20秒頃から石膏ボード表面が黒変し始め、全体的に広がった後、4分30秒頃に着火し始めた。続いて表面が灰色に変化していき、6分40秒頃にはせっこうボード表面の燃焼はほぼ終了した。26分頃からは難燃合板に亀裂が発生し始め、31分頃に亀裂部分から炎が表れ始めた。38分頃からは亀裂部分がめくれ上がり、脱落が始まった。その後も炉内や炉外へと火の粉や灰が舞いながら、加熱終了の66分まで亀裂部分のめくれ上がりや脱落が続いた。

一方非加熱面側では、66分頃に硬質木片セメント板の表面に亀裂が発生し、続いて亀裂部分から火炎が出始めたため、加熱を終了した。

加熱側石膏ボードの裏面温度は、最高温度は27分23秒頃に、平均温度は28分16秒頃に 260℃を超えた。難燃合板の裏面温度（断熱材表面）は、最高温度が36分44秒頃に、平均温度は38分02秒頃に 260℃を超えた。難燃合板と柱・間柱との界面温度は、最高温度は40分54秒頃に、平均温度は45分04秒頃に 260℃を超えた。構造用合板の表面温度（断熱材裏面）は、最高温度は41分39秒頃に、平均温度は45分32秒頃に 260℃を超えた。構造用合板の裏面温度は、最高温度が51分48秒頃、平均温度が56分38秒頃に 260℃を超えた。非加熱側硬質木片セメント板の裏面温度（試験体裏面温度）は、加熱終了の66分時点での最高温度が 134℃であった。

約3.0tの載荷荷重による変位は、加熱終了の66分に軸方向では中央上部が 8.3mm、面外方向では中央部分が24.7mmであった。

試験体の試験荷重と変位量を図5・1・3-1 に示し、試験体各部温度の平均を図5・1・3-2 に示す。

(4) EE-KP7.5+KS18(C)、柱寸法105×105mm、両面大壁仕様、載荷荷重:3.0t

加熱面側 : 構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板18mm張り (外装側)

非加熱面側: 難燃合板 9mm下地、石膏ボード15mm張り (内装側)

加熱開始後加熱面側では、9分13秒頃に硬質木片セメント板表面が黒変し、全体的に広がった後、17分08秒頃に全体的に黒変部分が消えていった。18分27秒頃からは構造用合板の縦目地部に隙間が見られ、24分11秒頃からは目地の交差部から煙が発生し、28分53秒頃からは炎が出現した。45分03秒頃からは構造用合板に亀裂が発生し、同時に炎も出現し始めた。67分01秒頃には音の発生とともに構造用合板の脱落が見られた。

一方非加熱面側では、83分55秒頃から表面が焦げ始め、86分04秒頃に貫通した。その後も表面の焦げた部分の面積が大きくなり、さらに火炎が出始めたため、87分に加熱を終了した。

加熱側硬質木片セメント板の裏面温度は、最高温度は42分28秒頃に、平均温度は45分20秒頃に 260℃を超えた。構造用合板の裏面温度 (断熱材表面温度) は、最高温度が40分30秒頃に、平均温度は49分00秒頃に 260℃を超えた。構造用合板と柱・間柱との界面温度は、最高温度が36分30秒頃に、平均温度は53分20秒頃に 260℃を超えた。難燃合板の表面温度 (断熱材裏面温度) は、最高温度が60分頃に、平均温度は67分15秒頃に 260℃を超えた。難燃合板の裏面温度は、最高温度が69分15秒頃に、平均温度は77分00秒頃に 260℃を超えた。非加熱側石膏ボードの裏面温度 (試験体裏面温度) は、加熱終了の87分時点の最高温度が98℃であった。

約3.0tの載荷荷重による変位は、加熱終了の87分に軸方向では中央上部が 1.7mm、面外方向では中央部分が 5.8mmであった。

試験体の試験荷重と変位量を図5・1・4-1 に示し、試験体各部温度の平均を図5・1・4-2 に示す。

(5) EI-GB15+NP9(C)、柱寸法105×105mm、両面大壁仕様、載荷荷重:2.9t

加熱面側 : 石膏ボード15mm下地、難燃合板 9mm張り (内装側)

非加熱面側: 構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板12mm張り (外装側)

加熱開始後加熱面側では、1分55秒頃から難燃合板表面が黒変し始め、3分41秒頃に着火し、4分頃に全体に炎が広がった。12分07秒頃から難燃合板が脱落し始め、13分12秒頃には全ての部分で脱落が見られた。16分10秒頃に石膏ボードに亀裂が発生し、26分10秒頃に炎が出現した。18分38秒頃に石膏ボード表面全体が黒色から白変し、20分34秒頃に小さな炭となってポロポロと舞うようになった。31分40秒頃には亀裂部分が反り始め、57分44秒頃には石膏ボードが膨らみ始めた。その後大きく膨らみ、65分頃に脱落した。

一方非加熱面側では、49分頃に縦目地部から白煙が発生した。60分20秒頃には別の縦目地部から白煙が発生し、64分50秒頃にはその部分から延びた亀裂が出現し、67分頃に亀裂部分から火炎が出始めたため、加熱を終了した。

加熱側難燃合板の裏面温度は、最高温度は11分30秒頃に、平均温度は11分40秒頃に 260℃を超えた。石膏ボードの裏面温度 (断熱材表面) は、最高温度は26分42秒頃に、平均温度は27分35秒頃に 260℃を超えた。石膏ボードと柱・間柱との界面温度は、最高

温度は27分40秒頃に、平均温度は35分10秒頃に 260℃を超えた。構造用合板の表面温度（断熱材裏面温度）は、最高温度は41分30秒頃に、平均温度は46分50秒頃に 260℃を超えた。構造用合板の裏面温度は、最高温度は55分05秒頃、平均温度は57分55秒頃に 260℃を超えた。非加熱側硬質木片セメント板の裏面温度（試験体裏面温度）は、加熱終了の67分時点の最高温度は 103℃であった。

約2.9tの載荷荷重による変位は、加熱終了の67分に軸方向では中央上部が 2.4mm、面外方向では中央部分が 3.8mmであった。

試験体の試験荷重と変位量を図5・1・5-1 に示し、試験体各部温度の平均を図5・1・5-2 に示す。

(6) EI-NP9+JW24(C)、柱寸法105×105mm、両面大壁仕様、載荷荷重:2.9t

加熱面側 : 難燃合板 9mm下地、準不燃木材24mm張り（内装側）

非加熱面側: 構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板12mm張り（外装側）

加熱開始後加熱面側では、1分52秒頃から準不燃木材表面から炎が出現し、その後徐々に広がった後、34分57秒頃に全体的に着炎した。33分04秒頃から難燃合板が脱落し、その後徐々に全体に広がった後、54分37秒頃に貫通した。

一方非加熱面側では、38分13秒頃に縦目地部から白煙が発生し、41分09秒頃にボードを取り付けるための釘から白煙が発生した。54分01秒頃からは目地の交差部から白煙が発生し始めた。54分28秒頃には硬質木片セメント板表面に亀裂が発生し、その後亀裂部分から火炎が出始めたため、56分に加熱を終了した。

加熱側準不燃木材の裏面温度は、最高温度は29分45秒頃に、平均温度は32分25秒頃に 260℃を超えた。難燃合板の裏面温度（断熱材表面温度）は、最高温度は36分10秒頃に、平均温度は37分15秒頃に 260℃を超えた。難燃合板と柱・間柱との界面温度は、最高温度は37分10秒頃に、平均温度は39分20秒頃に 260℃を超えた。構造用合板の表面温度（断熱材裏面温度）は、最高温度は37分25秒頃に、平均温度は39分05秒頃に 260℃を超えた。構造用合板の裏面温度は、最高温度は41分15秒頃、平均温度は42分40秒頃に 260℃を超えた。非加熱側硬質木片セメント板の裏面温度（試験体裏面）は、加熱終了の56分時点の最高温度が 118℃であった。

約2.9tの載荷荷重による変位は、加熱終了の56分に軸方向では中央上部が 3.9mm、面外方向では中央部分が11.4mmであった。

試験体の試験荷重と変位量を図5・1・6-1 に示し、試験体各部温度の平均を図5・1・6-2 に示す。

(7) EI-PW9+JW24(C)、柱寸法105×105mm、両面大壁仕様、載荷荷重:2.9t

加熱面側 : 普通合板 9mm下地、準不燃木材24mm張り（内装側）

非加熱面側: 構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板12mm張り（外装側）

加熱開始後加熱面側では、3分02秒頃から炎が出現し、4分20秒頃から青白色の煙も発生し、準不燃木材表面が黒変し始めた。14分35秒頃からは表面の膨れが見られ、15分22秒頃からは反りが発生し、続いて20分47秒頃からは亀裂・変形が発生し、25分58秒頃からは割れ・脱落が見られるようになった。23分21秒頃からは普通合板から炎が出現し

始め、36分42秒頃には全体的に燃え出した。そして37分29秒頃からは割れ・脱落が見られるようになった。40分15秒頃には黒煙と同時に全体的に炎が出現し、同時に全体的に普通合板の脱落が見られた。

一方非加熱面側では、27分頃に大きな音が立て続けに発生した。45分44秒頃には縦目地部から白煙が発生し始め、48分頃に中央目地部からタールが流れた。63分55秒頃には木質セメント板表面に亀裂が発生し始め、その後亀裂部分から火炎が出始めたため、65分に加熱を終了した。

加熱側準不燃木材の裏面温度は、最高温度は29分15秒頃に、平均温度は31分45秒頃に260℃を超えた。普通合板の裏面温度（断熱材表面温度）は、最高温度は38分40秒頃に、平均温度は40分00秒頃に260℃を超えた。普通合板と柱・間柱との界面温度は、最高温度は40分55秒頃に、平均温度は43分35秒頃に260℃を超えた。構造用合板の表面温度（断熱材裏面温度）は、最高温度は41分25秒頃に、平均温度は43分20秒頃に260℃を超えた。構造用合板の裏面温度は、最高温度は50分10秒頃、平均温度は51分10秒頃に260℃を超えた。非加熱側硬質木片セメント板の裏面温度（試験体裏面温度）は、加熱終了の65分時点の最高温度は102℃であった。

約2.9tの載荷荷重による変位は、加熱終了の65分に軸方向では中央上部が2.3mm、面外方向では中央部分が9.0mmであった。

試験体の試験荷重と変位量を図5・1・7-1に示し、試験体各部温度の平均を図5・1・7-2に示す。

(8) EE-KBN9+JW18(C)、柱寸法105×105mm、両面大壁仕様、載荷荷重:2.9t

加熱面側：繊維混入セメントけい酸カルシウム板(KBN)9mm下地、
準不燃木材18mm張り（外装側）

非加熱面側：石膏ボード12mm2枚重ね張り（内装側）

加熱開始後加熱面側では、4分頃から準不燃木材表面の下の方から黒変し始め、4分30秒頃には表面全体が黒変していった。8分頃からは中央目地部が開き始め、炎が表面から少し出るようになった。その後21分頃に板中央部が剥がれ浮き上がり、亀裂が発生した。22分頃から準不燃木材が脱落し始めた。23分30秒頃には準不燃木材のまん中部分が浮き上がり、同時に割れが発生し、続いて30分頃に上方へと広がって入った。40分頃にはKBNの目地部分から小炎が発生し始めた。

一方非加熱面側では、19分55秒頃に”ミシミシ”と音が発生したのが観測された以外は、石膏ボード表面には色の変化が見られなかった。その後42分30秒頃から試験体中央部のたわみが徐々に大きくなり、徐々に載荷が困難になってきたため、78分に加熱を終了した。

加熱側準不燃木材の裏面温度は、最高温度は22分45秒頃に、平均温度は24分35秒頃に260℃を超えた。KBNの裏面温度（断熱材表面温度）は、最高温度は29分00秒頃に、平均温度は34分45秒頃に260℃を超えた。KBNと柱・間柱との界面温度は、最高温度は32分20秒頃に、平均温度は42分05秒頃に260℃を超えた。下地石膏ボードの表面温度（断熱材裏面）は、最高温度は36分頃に、平均温度は46分55秒頃に260℃を超えた。下地石膏ボードの裏面温度（2枚の石膏ボード間の温度）は、加熱終了の78分時点の最高

温度が 228℃であった。非加熱側石膏ボードの裏面温度（試験体裏面温度）は、加熱終了の78分時点の最高温度が93℃であった。

約2.9tの載荷荷重による変位は、加熱終了の78分に軸方向では中央上部が15.3mm、面外方向では中央部分が51.1mmであった。

試験体の試験荷重と変位量を図5・1・8-1 に示し、試験体各部温度の平均を図5・1・8-2 に示す。

(9) EE-LM20(B)、パネル芯材寸法30×81mm、木質系プレハブ工法、載荷荷重:4.5t

加熱面側 : 合板 5.5mm下地、ラスモルタル20mm塗り（外装側）

非加熱面側: 合板 4mm下地、石膏ボード15mm張り（内装側）

加熱開始後非加熱面側では、72分30秒頃と73分15秒頃に相次いで石膏ボード表面に割れが発生した。また試験体中央部のたわみが徐々に大きくなり載荷が困難になってきたため、79分に加熱を終了した。

加熱側ラスモルタルの裏面温度は、最高温度は25分30秒頃に、平均温度は26分40秒頃に 260℃を超えた。加熱側下地合板の裏面温度（断熱材表面温度）は、最高温度は26分30秒頃に、平均温度は28分15秒頃に 260℃を超えた。非加熱側下地合板の裏面温度は、最高温度は78分20秒頃に 260℃を超えた。非加熱側石膏ボードの裏面温度（試験体裏面温度）は、加熱終了の79分時点の最高温度が97℃であった。

約4.5tの載荷荷重による変位の平均は、加熱終了の79分に軸方向では17.0mm、面外方向では78.7mmであった。

試験体の試験荷重と変位量を図5・1・9-1 に示し、試験体各部温度の平均を図5・1・9-2 に示す。

5. 2 試験後の柱・間柱の炭化深さ測定

(1) E1-RB7+PL8(C)、ラスボード 7mm下地、石膏プラスター 8mm塗り

（加熱面：内装側）

69分間の加熱後の間柱は、最小炭化深さが33mm、最大炭化深さが79mm、平均炭化深さが53mmであった。中央部の柱は、最小炭化深さが16mm、最大炭化深さが25mm、平均炭化深さが20mmであった。試験体の炭化深さ測定結果を図5・2-1 に示す。

(2) EE-KP7.5+KS12(C)、構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板12mm張り

（加熱面：外装側）

80分間の加熱後の間柱は、最小炭化深さが58mm、最大で炭化消失、平均炭化深さが90mmであった。中央部の柱は、最小炭化深さが18mm、最大炭化深さが22mm、平均炭化深さが20mmであった。試験体の炭化深さ測定結果を図5・2-2 に示す。

(3) E1-NP9+GB15(C)、難燃合板 9mm下地、石膏ボード15mm張り（加熱面：内装側）

66分間の加熱後の間柱は、最小炭化深さが16mm、最大炭化深さが31mm、平均炭化深さが23mmであった。中央部の柱は、最小炭化深さが25mm、最大炭化深さが29mm、平均炭化深さが26mmであった。試験体の炭化深さ測定結果を図5・2-3 に示す。

(4) EE-KP7.5+KS18(C)、構造用合板 7.5mm下地、硬質木片セメント板18mm張り
(加熱面：外装側)

87分間の加熱後の間柱は、最小炭化深さが41mm、最大で炭化消失、平均炭化深さが75mmであった。中央部の柱は、最小炭化深さは炭化なし(0mm)、最大炭化深さが17mm、平均炭化深さが7mmであった。試験体の炭化深さ測定結果を図5・2-4に示す。

(5) EI-GB15+NP9(C)、石膏ボード15mm下地、難燃合板 9mm張り (加熱面：内装側)

67分間の加熱後の間柱は、最小炭化深さが23mm、最大炭化深さが49mm、平均炭化深さが31mmであった。中央部の柱は、最小炭化深さが2mm、最大炭化深さが10mm、平均炭化深さが7mmであった。試験体の炭化深さ測定結果を図5・2-5に示す。

(6) EI-NP9+JW24(C)、難燃合板 9mm下地、準不燃木材24mm張り (加熱面：内装側)

56分間の加熱後の間柱は、最小炭化深さが27mm、最大炭化深さが40mm、平均炭化深さが36mmであった。中央部の柱は、最小炭化深さが16mm、最大炭化深さが25mm、平均炭化深さが19mmであった。試験体の炭化深さ測定結果を図5・2-6に示す。

(7) EI-PW9+JW24(C)、普通合板 9mm下地、準不燃木材24mm張り (加熱面：内装側)

65分間の加熱後の間柱は、最小炭化深さが25mm、最大炭化深さが44mm、平均炭化深さが37mmであった。中央部の柱は、最小炭化深さが16mm、最大炭化深さが22mm、平均炭化深さが19mmであった。試験体の炭化深さ測定結果を図5・2-7に示す。

(8) EE-KBN9+JW18(C)、繊維混入セメントけい酸カルシウム板(KBN)9mm下地、
準不燃木材18mm張り (加熱面：外装側)

78分間の加熱後の間柱は、最小炭化深さが24mm、最大炭化深さが60mm、平均炭化深さが42mmであった。中央部の柱は、最小炭化深さが17mm、最大炭化深さが25mm、平均炭化深さが20mmであった。試験体の炭化深さ測定結果を図5・2-8に示す。

(9) EE-LM20(B)、合板 5.5mm下地、ラスモルタル20mm塗り (加熱面：外装側)

79分間の加熱後の柱は、最小炭化深さが16mm、最大炭化深さが40mm、平均炭化深さが29mmであった。試験体の炭化深さ測定結果を図5・2-9に示す。

5.3 炉内圧力変化

(1) EI-RB7+PL8(C)

加熱開始後 3分頃までは、炉内の上1/4・中央・下1/4の位置の炉内圧力(それぞれP1,P2,P3とする)は、最大約4.0Paの変動幅を持ってP1,P2では上昇傾向、P3では1分30秒頃までは一旦下降しその後上昇傾向を示した。3分頃の炉内圧力はP1で約7.5Pa、P2で約3.7Pa、P3で約-3.7Paであった。その後徐々に上昇し、8分30秒頃に急激に約1.0Pa程度上昇して、P1で約9.3Pa、P2で約5.4Pa、P3で約-2.5Paとなった。そしてその後も徐々に上昇し、63分頃にはP1で約12.8Pa、P2で約8.7Pa、P3で約1.2Paとなり、本試験最高の値を示した。その間35分頃に、P3はマイナスからプラスへと転じた。しかし

その後試験終了時の69分までは徐々に下降し、試験終了時にはP1で約11.6Pa、P2で約7.5Pa、P3で約0Paであった。炉内各位置の圧力変化を図5・3-1に示す。

(2) EE-KP7.5+KS12(C)

加熱開始後5分頃までは、最大約4.0Paの変動幅を持ってP1,P2では上昇傾向、P3では1分30秒頃までは一旦下降しその後上昇傾向を示した。5分頃の炉内圧力はP1で約9.7Pa、P2で約5.4Pa、P3で約-1.6Paであった。その後各位置とも徐々に上昇し、13分30秒頃に急激に約1.0Pa程度上昇して、P1で約11.6Pa、P2で約7.1Pa、P3で約0Pa（同時にP3はマイナスからプラスへと転じた）となった。その後も徐々に上昇したが、26分30秒頃に各位置とも急激に約0.5Pa程度下降して、P1で約12.4Pa、P2で約7.8Pa、P3で約1.2Paとなった。その後30分頃まではほぼ一定であったが、30分過ぎから徐々に上昇し、33分30秒頃にP1で約14.3Pa、P2で約10.0Pa、P3で約3.1Paとなった。しかしその後39分頃まで徐々に下降し、39分頃にはP1で約11.2Pa、P2で約7.3Pa、P3で約0.4Paとなった。その間38分30秒頃に瞬間的にP1で約13.2Pa、P2で約9.3Pa、P3で約3.7Paを示した。その後また急激に上昇してP1で約12.4Pa、P2で約8.5Pa、P3で約1.9Paとなり、42分頃まではほぼ一定であった。その間41分30秒頃に瞬間的にP1で約14.1Pa、P2で約9.8Pa、P3で約2.6Paを示した。その後42分頃にも急激に上昇してP1で約14.1Pa、P2で約9.7Pa、P3で約3.1Paとなり、69分45秒頃まで徐々に上昇していった。その間47分30秒頃に瞬間的にP1で約14.6Pa、P2で約10.0Pa、P3で約2.7Paを示した。その後58分頃には急激に約1.0Pa程度上昇して、P1で約15.3Pa、P2で約11.1Pa、P3で約4.1Paとなり、69分45秒頃にはP1で約15.1Pa、P2で約10.5Pa、P3で約3.1Paとなった。そして瞬間的にP1で約15.9Pa、P2で約11.3Pa、P3で約3.9Paとなり、本試験最高の値を示した。その後試験終了時の80分まではほぼ一定で、試験終了時にはP1で約14.9Pa、P2で約10.1Pa、P3で約2.9Paであった。その間76分頃に瞬間的にP1で約15.7Pa、P2で約11.2Pa、P3で約3.7Paを示した。炉内各位置の圧力変化を図5・3-2に示す。

(3) E1-NP9+GB15(C)

加熱開始後6分頃までは、最大約3.0Paの変動幅を持ってP1,P2では上昇傾向、P3では3分頃までは一定でその後上昇傾向を示した。その間4分頃に、P3はマイナスからプラスへと転じた。6分頃に炉内圧力が瞬間的にP1で約12.8Pa、P2で約8.7Pa、P3で約2.5Paを示した後、P1で約11.5Pa、P2で約7.5Pa、P3で約1.0Paとなった。その後各位置とも徐々に上昇し、38分頃にP1で約14.7Pa、P2で約10.6Pa、P3で約3.7Paとなった。その間37分30秒頃に瞬間的にP1で約15.1Pa、P2で約11.2Pa、P3で約5.0Paとなり、本試験最高の値を示した。しかしその後試験終了時の66分までは徐々に下降し、試験終了時にはP1で約13.1Pa、P2で約8.7Pa、P3で約1.9Paであった。その間39～40分頃に2回、51～52分頃に4回、各位置とも1～2Pa程度の瞬間的な炉内圧力の変動が見られた。炉内各位置の圧力変化を図5・3-3に示す。

(4) EE-KP7.5+KS18(C)

加熱開始後6分頃までは、最大約4.0Paの変動幅を持ってP1,P2では上昇傾向、P3で

は 1分30秒頃までは一旦下降しその後上昇傾向を示した。6分頃の炉内圧力はP1で約10.6Pa、P2で約6.6Pa、P3で約0Pa（同時にP3はマイナスからプラスへと転じた）であった。その後各位置とも徐々に上昇し、56分頃にP1で約14.3Pa、P2で約10.2Pa、P3で約3.7Paとなった。しかしその後徐々に下降し、67分頃にはP1で約13.3Pa、P2で約9.0Pa、P3で約2.5Paとなった。その間66分45秒頃に瞬間的にP1で約15.9Pa、P2で約11.6Pa、P3で約5.4Paとなり、本試験最高の値を示した。しかし68分30秒頃に急激に上昇し、P1で約14.9Pa、P2で約11.2Pa、P3で約4.0Paとなった。その後69分45秒頃まではほぼ一定で、69分45秒頃に急激に約0.5Pa程度低下した後、実験終了時の87分まではほぼ一定の傾向を示した。そして試験終了時にはP1で約14.7Pa、P2で約10.6Pa、P3で約3.7Paであった。炉内各位置の圧力変化を図5・3-4に示す。

(5) EI-GB15+NP9(C)

加熱開始後2分頃までは、最大約3.0Paの変動幅を持ってP1,P2では上昇傾向、P3ではほぼ一定の傾向を示した。2分頃の炉内圧力はP1で約8.1Pa、P2で約5.0Pa、P3で約0Paであった。その後13分30秒頃まで上昇・下降を繰り返し、2分30秒頃にP3はマイナスからプラスへと転じ、3分頃にはP1で約13.7Pa、P2で約10.6Pa、P3で約4.4Pa、4分頃にはP1で約10.0Pa、P2で約6.6Pa、P3で約0Pa、5分頃にはP1で約13.4Pa、P2で約10.0Pa、P3で約3.7Pa、7分30秒頃にはP1で約10.2Pa、P2で約6.8Pa、P3で約0.6Paとなった後、瞬間的にP1で約12.4Pa、P2で約9.6Pa、P3で約3.1Paを示し、10分頃にはP1で約14.8Pa、P2で約11.2Pa、P3で約4.6Pa、13分30秒頃にはP1で約10.6Pa、P2で約7.2Pa、P3で約1.0Paとなった後、瞬間的にP1で約12.4Pa、P2で約9.0Pa、P3で約3.1Paを示した。そしてその後も徐々に上昇し、18分15秒頃にはP1で約11.3Pa、P2で約7.6Pa、P3で約1.6Paとなった。その後急激に上昇し、18分45秒頃にはP1で約13.7Pa、P2で約10.0Pa、P3で約3.7Paとなった。22分30秒頃に瞬間的にP1で約14.9Pa、P2で約11.2Pa、P3で約5.0Paを示した後、P1で約14.3Pa、P2で約10.8Pa、P3で約4.0Paとなった。その後も徐々に上昇し、58分頃にはP1で約16.2Pa、P2で約12.4Pa、P3で約5.6Paとなり、本試験最高の値を示した。しかしそれから試験終了時の67分までは徐々に下降し、試験終了時にはP1で約14.9Pa、P2で約11.0Pa、P3で約4.1Paであった。炉内各位置の圧力変化を図5・3-5に示す。

(6) EI-NP9+JW24(C)

加熱開始後3分頃までは、最大約4.0Paの変動幅を持ってP1,P2では上昇傾向、P3ではほぼ一定の傾向を示した。3分頃の炉内圧力はP1で約7.2Pa、P2で約3.7Pa、P3で約-0.6Pa（同時にP3はマイナスからプラスへと転じた）であった。その後6分30秒頃まで上昇・下降を繰り返し、4分頃にはP1で約11.2Pa、P2で約7.2Pa、P3で約1.6Pa、5分頃にはP1で約8.7Pa、P2で約5.0Pa、P3で約0Paとなった後、瞬間的にP1で約11.3Pa、P2で約8.0Pa、P3で約3.5Paを示し、6分30秒頃にはP1で約12.3Pa、P2で約8.1Pa、P3で約2.5Paとなった。そしてその後も徐々に上昇し、25分30秒頃には約0.5Pa程度急激に上昇し、P1で約13.1Pa、P2で約8.7Pa、P3で約2.9Paとなった。33分頃からは試験終了時まで連続して約1.0Pa程度の変動幅が現れた。35分頃にはP1で約14.9Pa、P2で約10

.6Pa、P3で約 4.4Paとなった。しかしその後徐々に下降し、41分30秒頃にはP1で約12.1Pa、P2で約 7.5Pa、P3で約 2.1Paとなった。その間35分20秒頃に瞬間的にP1で約16.3Pa、P2で約12.2Pa、P3で約 6.7Paとなり、本試験最高の値を示した。その後急激に上昇し、P1で約14.7Pa、P2で約 9.8Pa、P3で約 4.4Paとなった。そして徐々に上昇し、46分30秒頃にはP1で約14.9Pa、P2で約10.0Pa、P3で約 5.0Paとなった。しかしそれから試験終了時の56分までは徐々に下降し、試験終了時にはP1で約14.1Pa、P2で約 9.2Pa、P3で約 4.0Paであった。炉内各位置の圧力変化を図5・3-6 に示す。

(7) EI-PW9+JW24(C)

加熱開始後 5分頃までは、最大約4.0Pa の変動幅を持ってP1,P2では上昇傾向、P3ではほぼ一定の傾向を示した。5分頃の炉内圧力はP1で約10.8Pa、P2で約 6.8Pa、P3で約 0.4Paであった。その後徐々に下降し、6分頃にはP1で約10.2Pa、P2で約 6.2Pa、P3で約-0.2Paとなった。そしてその後徐々に上昇し、36分頃にはP1で約12.4Pa、P2で約 8.3Pa、P3で約 1.9Paとなった。その間 7分頃に、P3はマイナスからプラスへと転じた。33分頃からは試験終了時まで連続して約 1.0Pa程度の変動幅が現れた。40分頃にはP1で約14.7Pa、P2で約10.8Pa、P3で約 4.1Paとなり、P1は本試験最高の値を示した。しかしその後徐々に下降し、48分頃にはP1で約11.2Pa、P2で約 7.5Pa、P3で約 1.2Paとなった。そしてその後徐々に上昇し、54分頃にP1で約11.8Pa、P2で約 8.1Pa、P3で約 2.0Paとなった。そしてその後徐々に下降し、57分30秒頃にはP1で約11.5Pa、P2で約 7.7Pa、P3で約 1.6Paとなった。その後急激に上昇し、P1で約13.7Pa、P2で約10.0Pa、P3で約 3.7Paとなった。その後62分頃まではほぼ一定で、62分頃に瞬間的にP1で約14.6Pa、P2で約11.0Pa、P3で約 5.0Paで、P2,P3は本試験最高の値を示した。しかしそれから試験終了時の65分まではほぼ一定で、試験終了時にはP1で約14.3Pa、P2で約10.2Pa、P3で約 3.7Paであった。炉内各位置の圧力変化を図5・3-7 に示す。

(8) EE-KBN9+JW18(C)

加熱開始後 4分30秒頃までは、最大約4.0Pa の変動幅を持ってP1,P2 では上昇傾向、P3ではほぼ一定の傾向を示した。4分30秒頃の炉内圧力はP1で約11.2Pa、P2で約 7.5Pa、P3で約 0Pa（同時にP3はマイナスからプラスへと転じた）であった。その後徐々に上昇し、24分頃にはP1で約13.2Pa、P2で約 8.7Pa、P3で約 1.4Paとなった。そしてその後徐々に下降し、44分30秒頃にはP1で約11.2Pa、P2で約 6.2Pa、P3で約-0.6Paとなった。その間41分頃に、P3はプラスからマイナスへと転じた。しかしその後急激に上昇してP1で約13.1Pa、P2で約 8.5Pa、P3で約 1.1Pa（同時にP3は再びマイナスからプラスへと転じた）となり、45分頃にも急激に上昇してP1で約13.9Pa、P2で約 9.7Pa、P3で約 2.4Paとなった。そしてその後徐々に上昇し、69分頃から試験終了時の78分まではほぼ一定で、試験終了時にはP1で約15.1Pa、P2で約10.8Pa、P3で約 3.5Paとなり、本試験最高の値を示した。炉内各位置の圧力変化を図5・3-8 に示す。

(9) EE-LM20(B)

炉圧測定なし。

6. まとめと今後の検討課題

試験結果をまとめ、各温度測定位置の温度結果を表6-1に、載荷荷重と変位、裏面温度変化、軸組の炭化深さ等を表6-2に示す。

6.1 内壁側からの載荷加熱試験結果について

- 1) 内装材として一般的なラスボード下地 plaster 仕上げの試験体では、柱の座屈により変位が上昇し、載荷が困難となったため、69分に加熱を終了した。(EI-RB7+PL8(C))
- 2) 難燃合板と石膏ボードの下地と仕上げの組合せによる内装材の試験体では、66分及び67分に裏面側への炎の貫通が認められ、下張り仕上げの張り方を変えてもほぼ同一の性能を示した。(EI-NP9+GB15(C)、EI-GB15+NP9(C))
- 3) 難燃合板または普通合板を下地として準不燃板材を仕上げ材に張った試験体では裏面側への火炎貫通は難燃合板のほうが早くなった。(EI-NP9+JW24(C)、EI-PW9+JW24(C))
- 4) ラスボード下地石膏 plaster 仕上げの試験体は、柱の座屈により試験終了となったが、他の内装材の試験体では外壁の硬質木片セメント板の火炎貫通により試験終了となった。

6.2 外壁側からの載荷加熱試験結果について

- 1) 外装材として一般的な防火構造であるラスモルタル塗りの試験体は、77分に座屈した。(EE-LM20(B))
- 2) 構造用合板 7.5mmを下地として、硬質木片セメント板の12mmまたは18mmを張った試験体では、12mmの場合は68分に亀裂温度が室温+180℃を超え、18mmの場合は87分に裏面亀裂から火炎が貫通した。(EE-KP7.5+KS12(C)、EE-KP7.5+KS18(C))
- 3) 繊維混入セメントけい酸カルシウム板 9mmを下地として、準不燃板材18mmを仕上げ材として張った試験体では、78分に柱が座屈した。(EE-KBN9+JW18(C))

6.3 耐火性能について

- 1) 難燃合板9mm下地、準不燃板材24mm仕上げが56分に亀裂部分から炎が表れたが、それ以外の仕様では、外壁側、内壁側共に60分以上の耐火性能を示した。
- 2) 耐火性能は、内壁又は外壁の加熱側材料の性能だけでなく、非加熱側に用いた材料の性能によっても変化することが想定でき、特に非加熱側の材料の亀裂などにより火炎の貫通を生じた試験体では、非加熱側の材料の厚みや取付方法を考慮すれば耐火性能が更に向上することが考えられる。従って、柱の面外変位が10mm程度であった難燃合板 9mm下地、準不燃板材24mm仕上げの試験体は、外壁側の材料を考慮すれば60分以上の耐火性能を得ることが可能と思われる。
- 3) 炉内圧力は、試験体上部3/4の位置で約11Paから16Pa、試験体中央部で約7Paから12Pa、試験体下部1/4位置でマイナスから約5Paまで変動していたが、平均的には上部3/4位置が約14Pa、中央が約10Pa、下部の1/4位置が約3Paの状態で行った。
- 4) 加熱側下地材料の裏面温度が260℃を超えた時間は、約17分から40分半で

あったが、載荷加熱試験による耐火性能は56分から87分であった。これまでの防火構造試験においては、木材の柱・間柱の表面温度が260℃を超えると火災拡大の危険があると評価され、加熱側材料だけの性能で判定される。従って、この評価方法によれば、試験を実施した仕様は45分以下の性能と考えられる。しかし、今回実施した載荷加熱試験では、壁体全体としての区画防火性能や倒壊防止性能も含めて耐火性能と考えることにより、より合理的な評価方法となった。従って、載荷加熱試験方法による耐火性能は60分以上となることから、木造部材に対してこれまでより有利な評価方法となった。

- 5) 今回実施した試験体においては、可燃性の木質材料が下地材又は表面材に用いられている。そのために、加熱中に木質材料が燃焼して炉内温度が激しく上昇し、燃料の供給を抑えても標準曲線に従った加熱が困難な状況となることが見られた。この場合、燃料の供給を著しく抑制するとその後の温度制御が困難となり、強制的に標準曲線に合わせるような加熱は試験結果の再現性に影響を与えると思われる。従って、可燃材料を含む場合は、上限幅を大きくして燃料供給の抑制をなるべく少なくすることが必要と思われる。

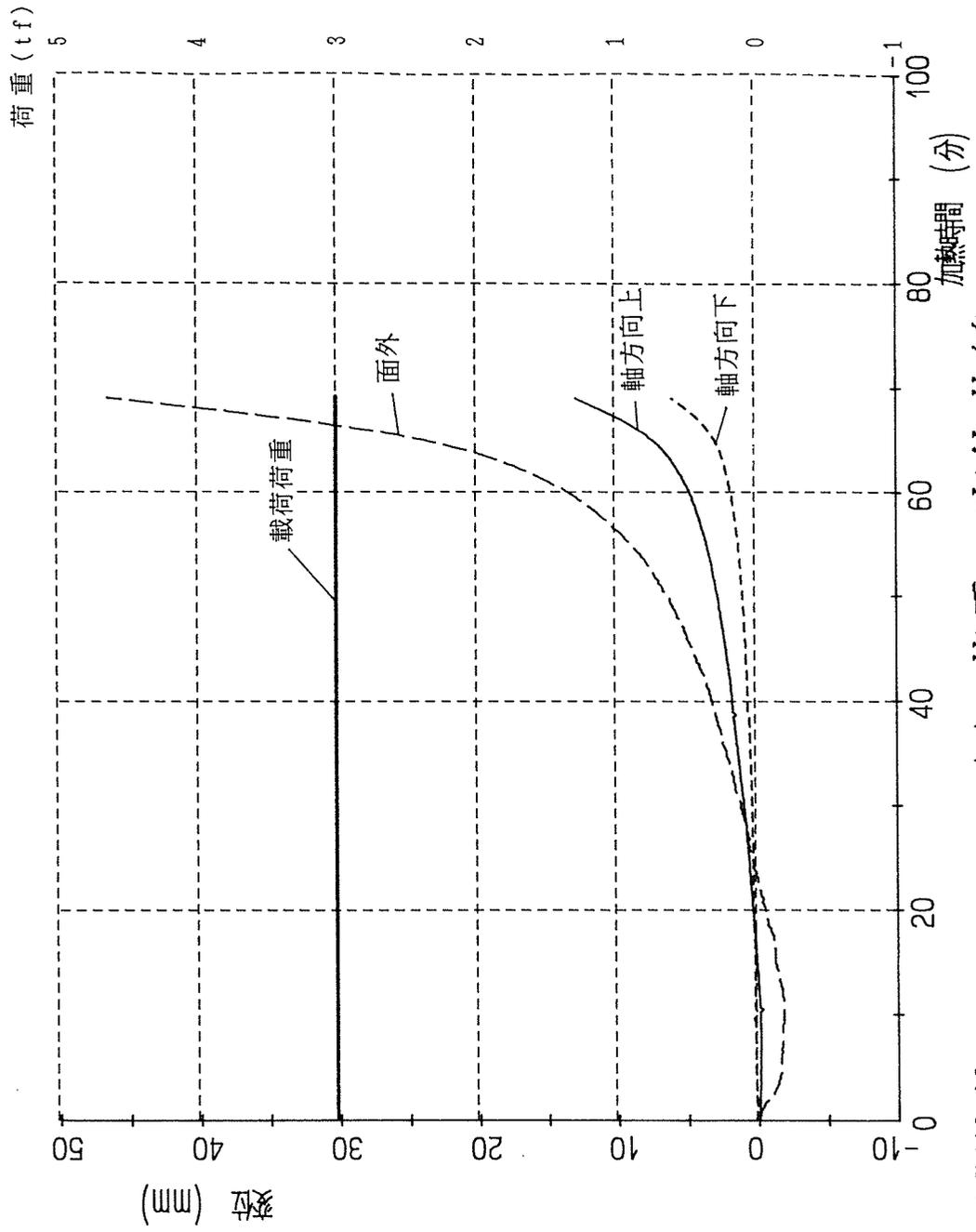
6.4 今後の検討課題

今回の実験では、木質材料を用いた壁構造の場合でも木造部材の載荷加熱試験方法によって性能を評価できるかを検証し、同時に60分の耐火性能を有する仕様を一部明らかにした。その結果、炉内温度の制御方法の検討と、他の木質材料を内壁や外壁に用いた場合の耐火性能の検討が必要である。又、開発する耐火性能の目標を30分、45分、60分以上に分けて、その性能を確保する材料と厚みの検討並びに不燃材料等との複合化等の検討が今後必要である。

表 6-2 載荷加熱試験結果一覧表 (壁)

試験体記号 部位 被覆仕様	試験荷重 (tf)	初期温度 (℃)	加熱時間 (分)	座屈時間 (分)	軸方向 最大変位量 (mm)	外面 最大変位量 (mm)	試験体裏面				裏面温度の平均温度が初期温度+140℃になった時間	裏面温度の最高温度が初期温度+180℃になった時間	上段：柱		火災貫通時間 加熱終了となる現象等				
							JIS方式(醒)		ISO方式(可動)				測定位置	測定時間 (分)		最大(℃)	平均(℃)	最大(mm)	平均(mm)
							最大(℃)	平均(℃)	最大(℃)	測定位置									
EI-RB7 +PL8(C)	2.9	17	69	69	12.9	46.5	104	98	96	51.5	目地部分	到達せず	JIS方式	到達せず	25 79	20 53	柱座屈		
EE-KP7.5 +KS12(C)	2.9	21	80	—	11.7	35.9	611	241	204	68.0	亀裂部分	到達せず	JIS方式	69'26"	22 焼失	20 90	80分炎出現		
EI-NP9 +GB15(C)	3.0	16	66	—	8.3	24.7	134	99	80	66.0	亀裂部分	到達せず	JIS方式	到達せず	29 31	26 23	66分炎出現		
EE-KP7.5 +KS18(C)	3.0	21	87	—	1.7	5.8	98	88	138	87.0	亀裂部分	到達せず	JIS方式	到達せず	17 焼失	7 75	87分炎出現		
EI-GB15 +NP9(C)	2.9	18	67	—	2.4	3.8	103	95	518	66.8	目地部分	到達せず	JIS方式	到達せず	10 49	7 31	67分炎出現		
EI-NP9 +JW24(C)	2.9	17	56	—	3.9	11.4	118	103	73	55.0	亀裂部分	到達せず	JIS方式	到達せず	25 40	19 36	56分炎出現		
EI-PW9 +JW24(C)	2.9	18	65	—	2.3	9.0	102	101	77	64.5	亀裂部分	到達せず	JIS方式	到達せず	22 44	19 37	65分炎出現		
EE-KBN9 +JW18(C)	2.9	17	78	78	15.3	51.1	93	90	—	—	—	到達せず	JIS方式	到達せず	25 60	20 42	柱座屈		
EE-LM20(B) (PW5.5+)	4.5	7	79	77	17.0	78.7	97	94	—	—	—	到達せず	JIS方式	到達せず	40	29	柱座屈		

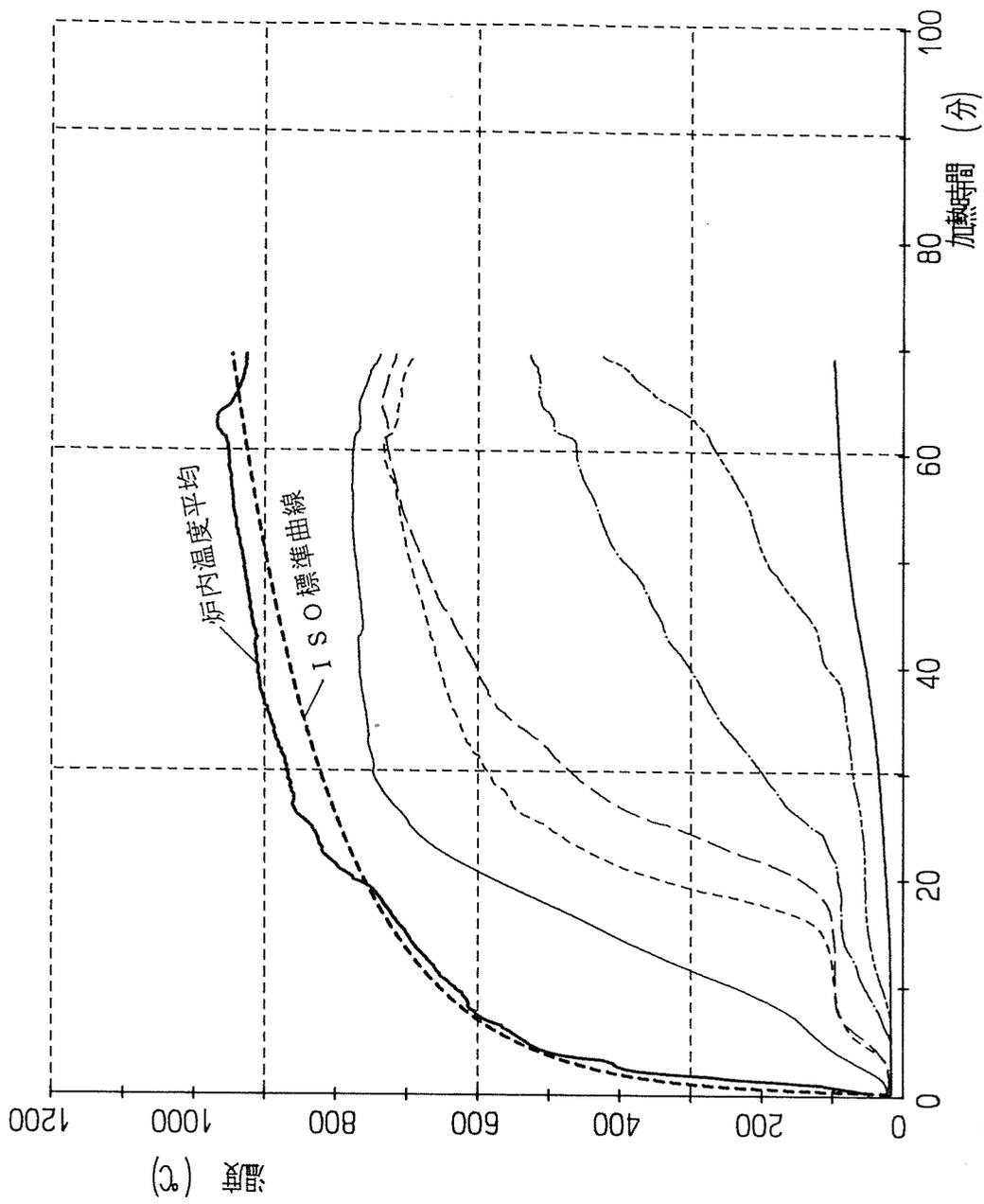
EI：内壁側、EE：外壁側、RB：ラスボード、PL：石膏プラスチック、KP：構造用合板、KS：硬質木片セメント板、NP：難燃合板、GB：石膏ボード、JW：準不燃木材、PW：普通合板、KBN：繊維混入セメントけい酸カルシウム板、LM：ラスモルタル



——— 軸方向上
 - - - 軸方向下
 - - - 面外
 ——— 載荷荷重

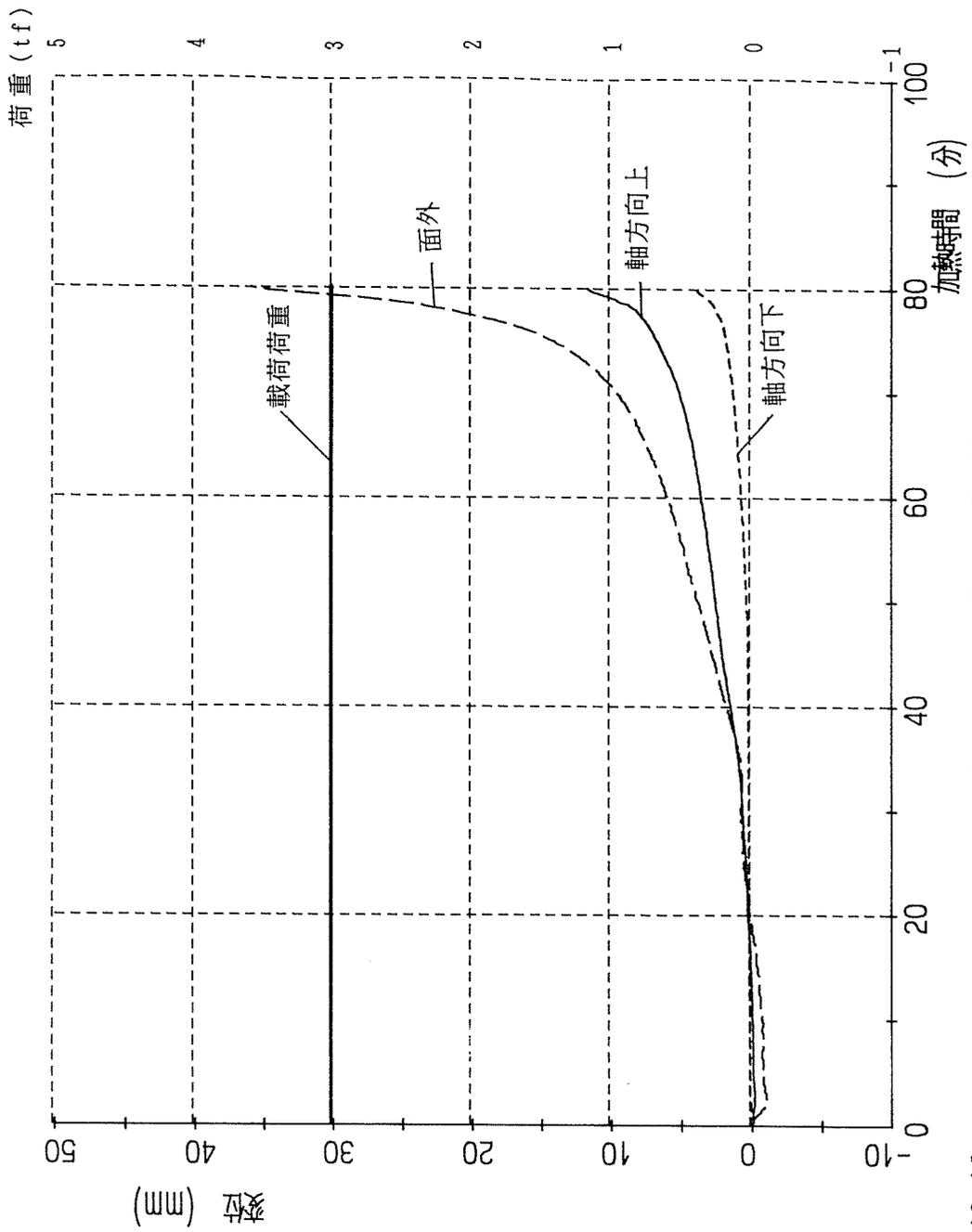
試験体EI-RB7+PL8 (C)、荷重—変位曲線

図 5・1・1-1



- ガラスパネル表面
- - - ガラスパネル裏面
- . - . 柱・間柱表面
- . - . 構造用合板表面
- . - . 構造用合板裏面
- 試験体表面
- 炉内温度
- - - ISO標準曲線

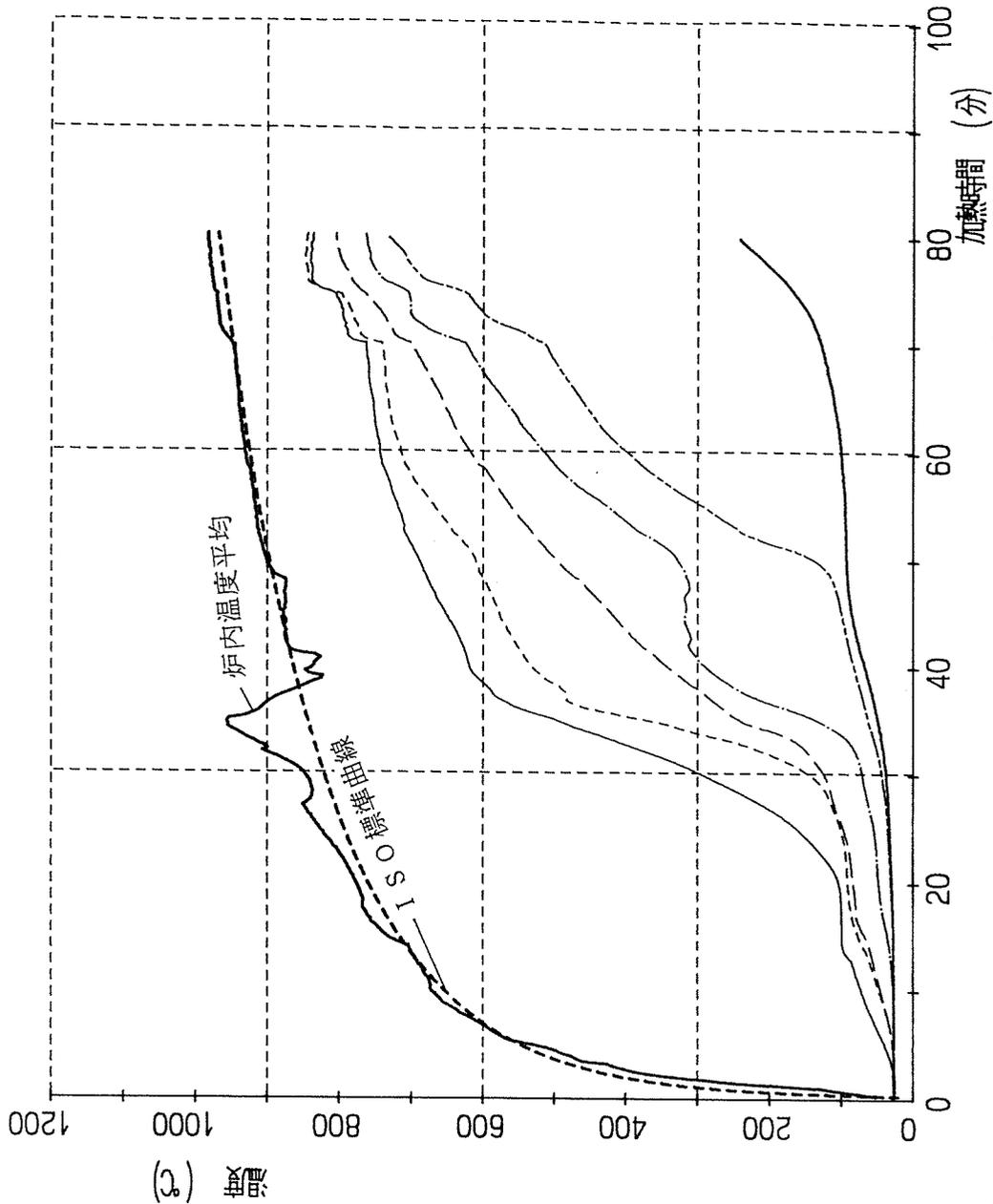
図 5・1・1-2 試験体EI-RB7+PL8 (C)、各部温度平均



軸方向上
 軸方向下
 面外
 載荷荷重

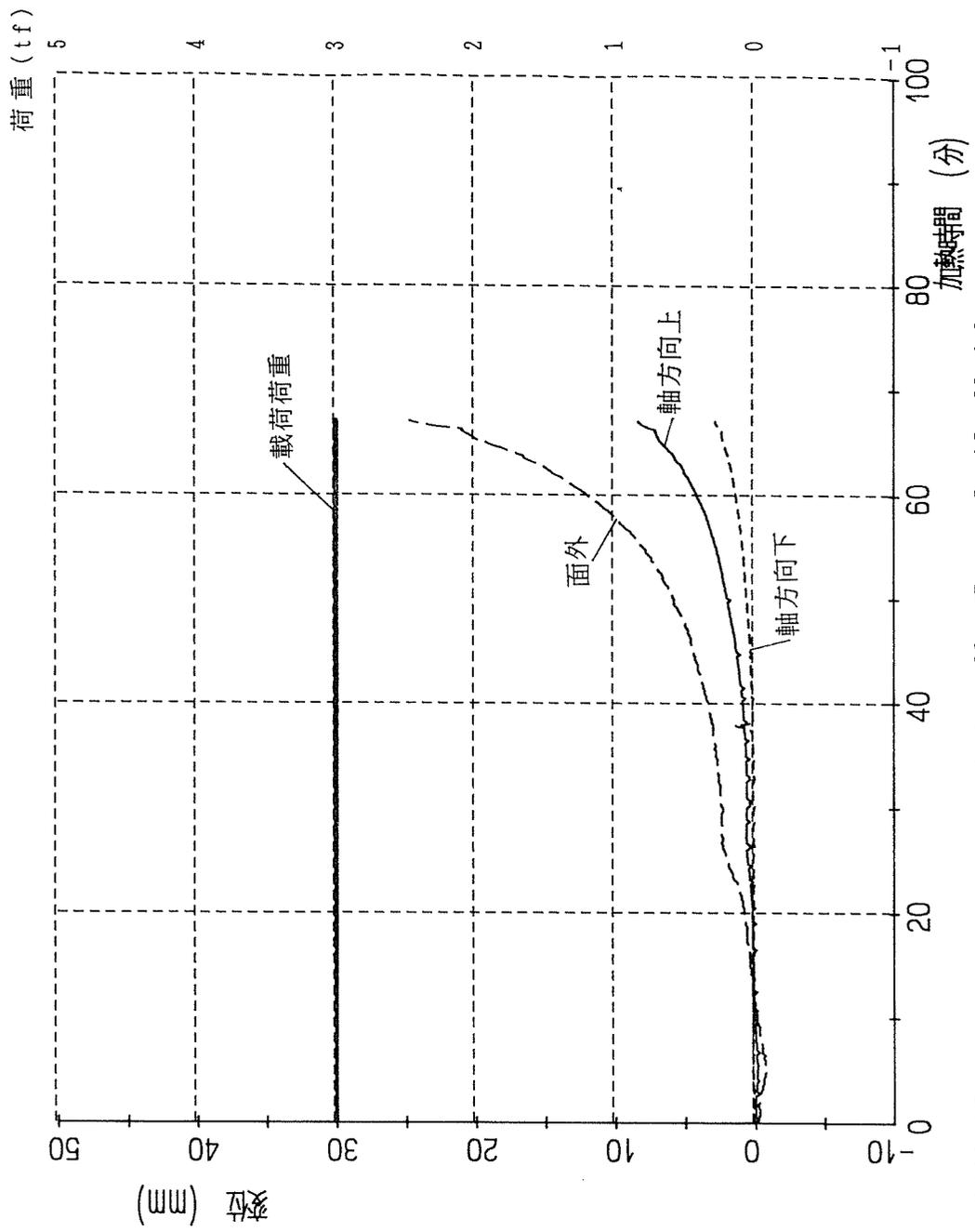
試験体EE-KP7.5+KS12(C)、荷重-変位曲線

図 5.1.2-1



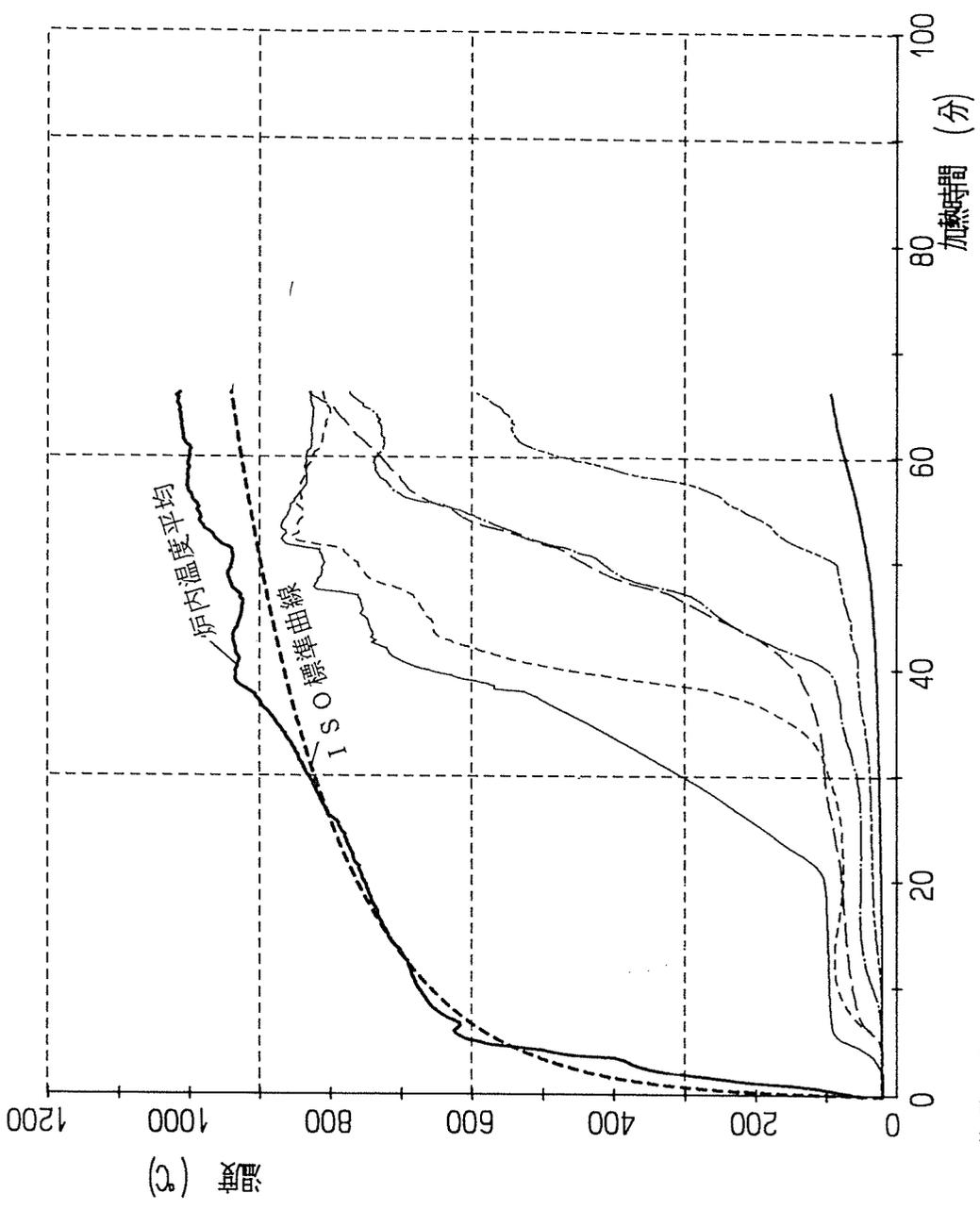
- 構造用合板表面
- - 構造用合板裏面
- · 柱・間柱表面
- · 柱・間柱裏面
- · フスボート表面
- · フスボート裏面
- 試験体裏面
- 試験体表面
- 炉内温度
- - ISO標準曲線

図 5・1・2-2 試験体EE-KP7.5+KS12(C)、各部温度平均



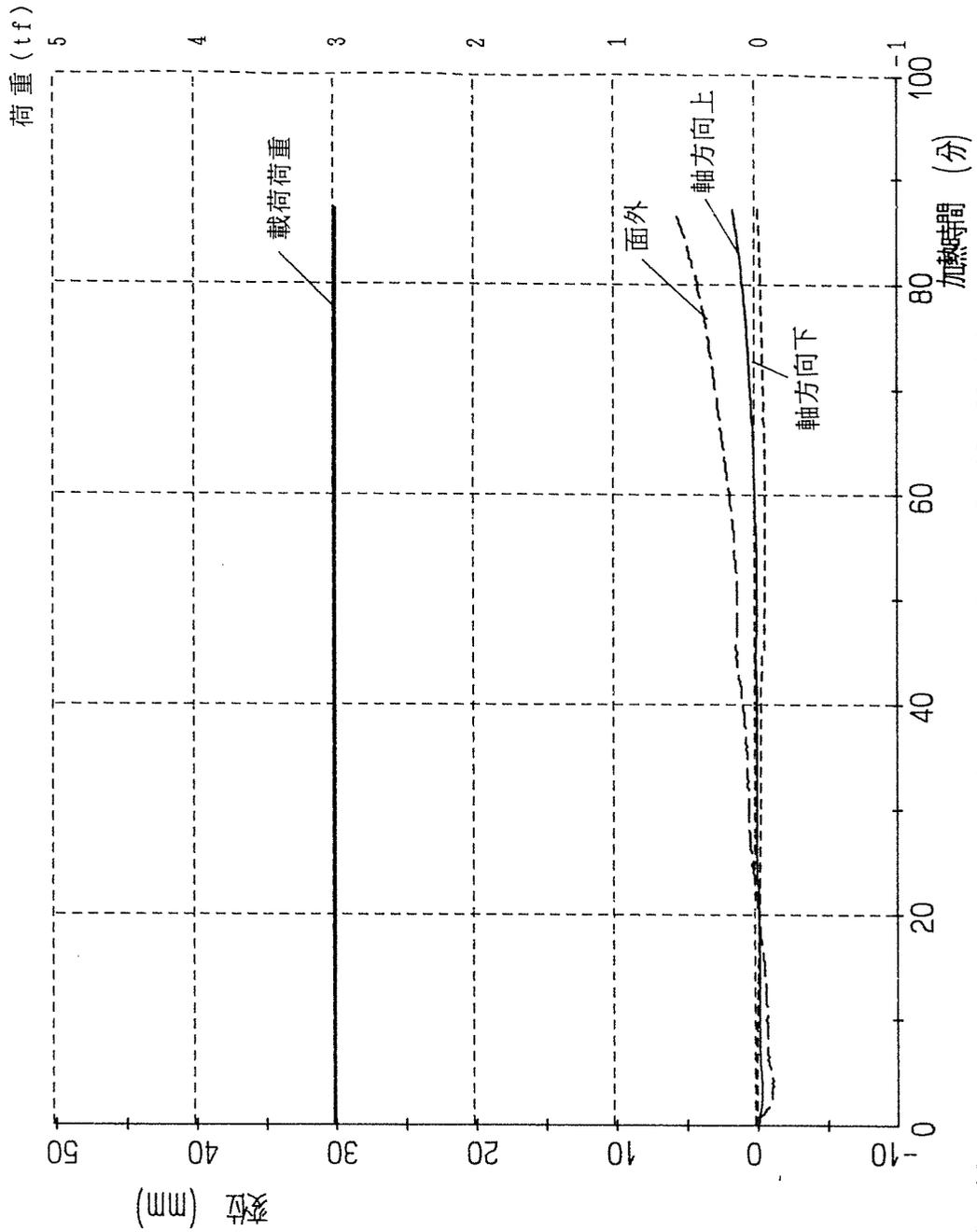
軸方向上
 軸方向下
 面外
 載荷荷重

図 5.1.3-1 試験体EI-NP9+GB15 (C)、荷重－変位曲線



- 石膏ボード裏面
- 難燃合板裏面
- 柱・間柱表面
- 構造用合板表面
- 構造用合板裏面
- 試験体裏面
- 炉内温度平均
- ISO標準曲線

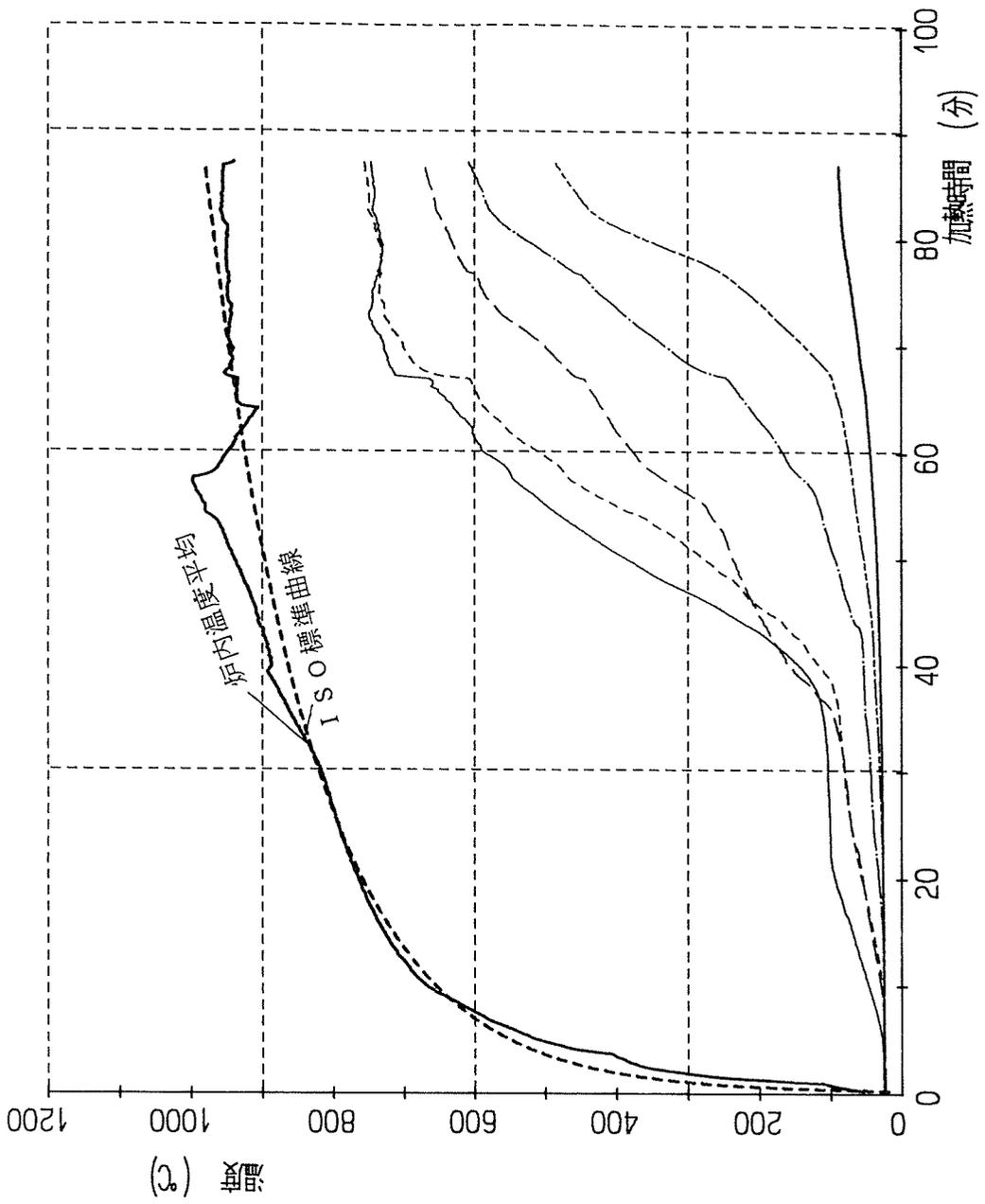
図 5・1・3-2 試験体EI-NP9+GB15 (C)、各部温度平均



軸方向上
 軸方向下
 面外
 載荷荷重

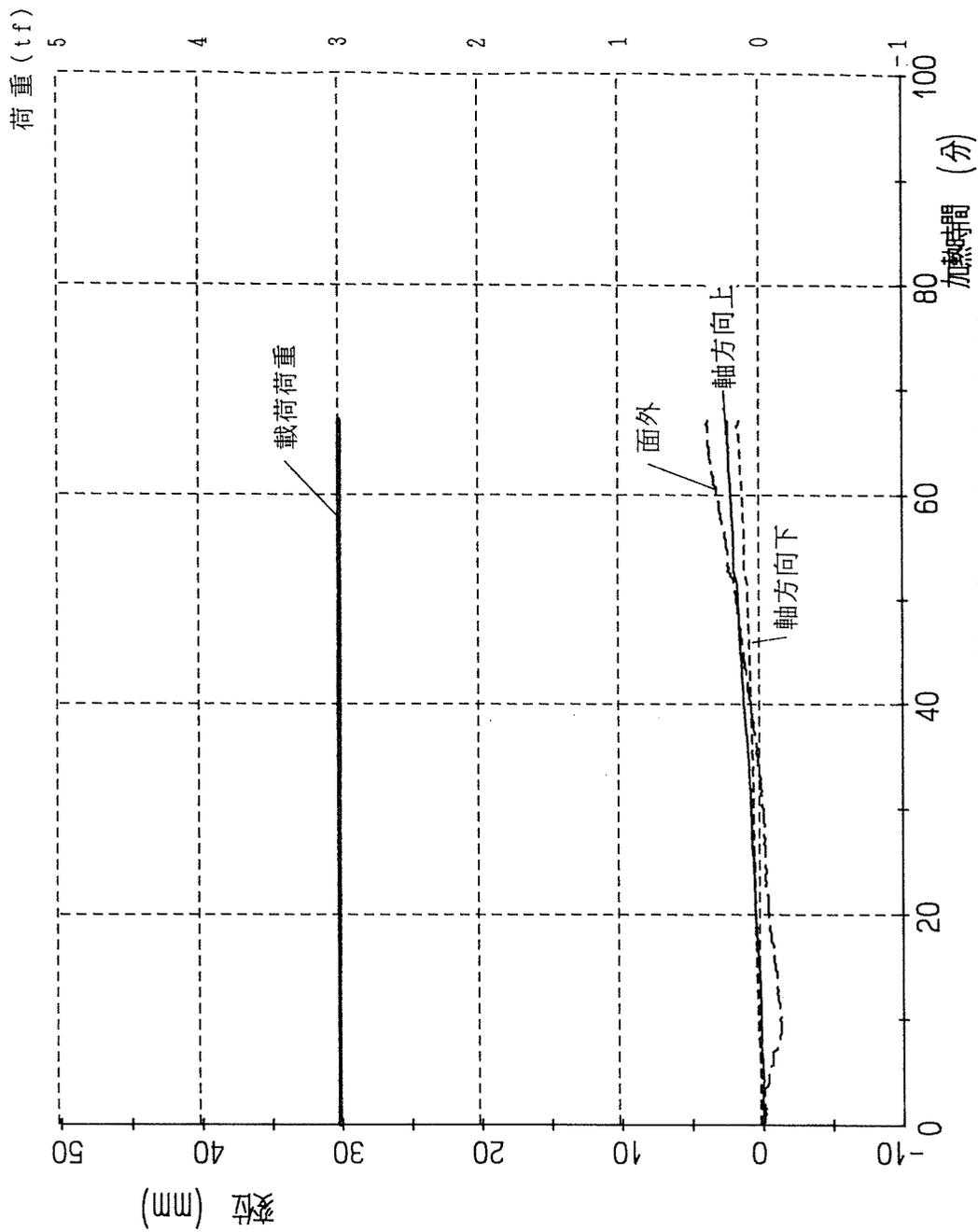
試験体EE-KP7.5+KS18(C)、荷重-変位曲線

図5.1.4-1



硬質木片セメント板
 構造用合板表面
 柱・間柱表面
 難燃合板表面
 難燃合板表面
 試験体表面
 炉内温度
 ISO標準曲線

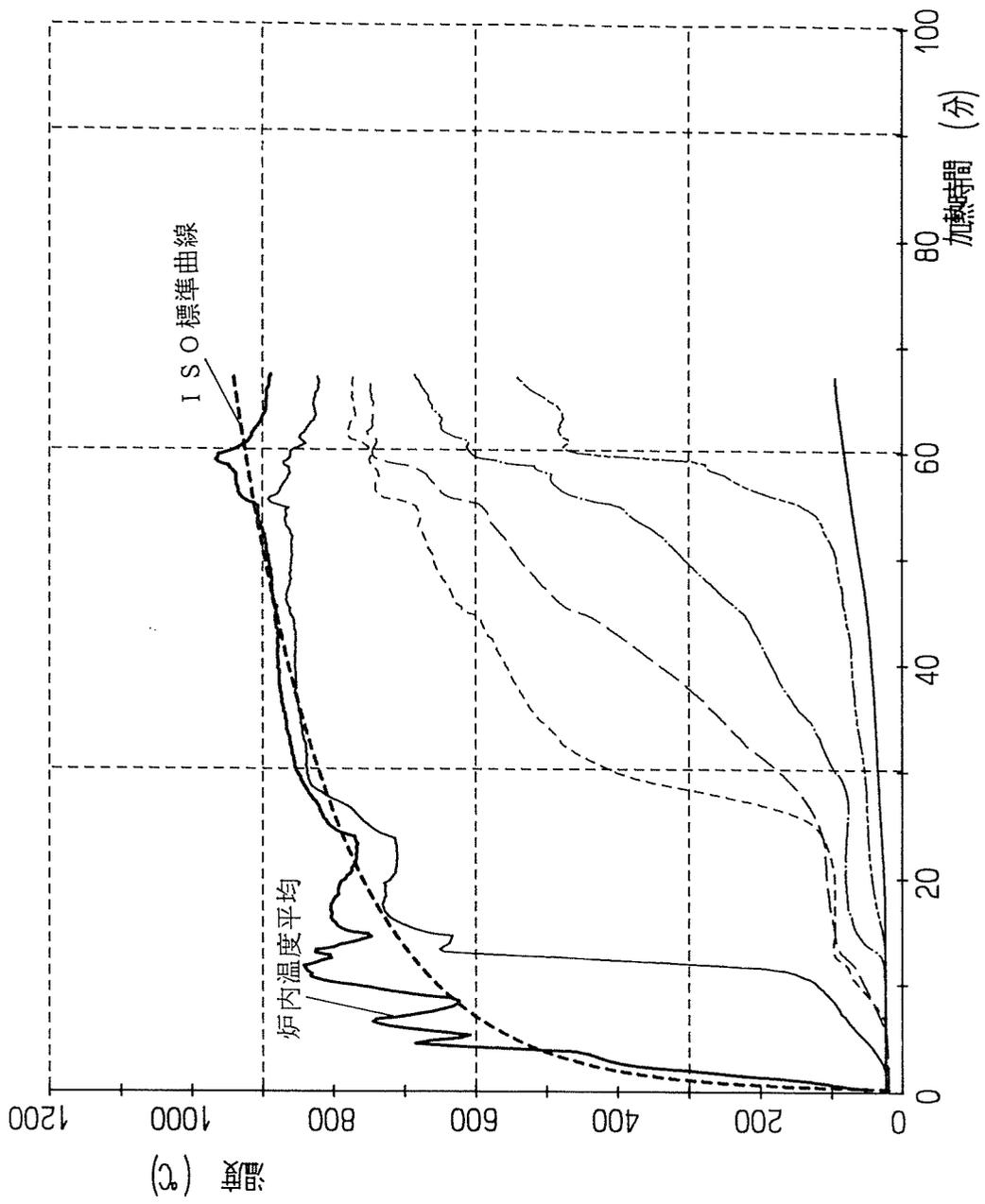
図 5・1・4-2 試験体 EE-KP7.5+KS18 (C)、各部温度平均



軸方向上
 軸方向下
 面外
 載荷荷重

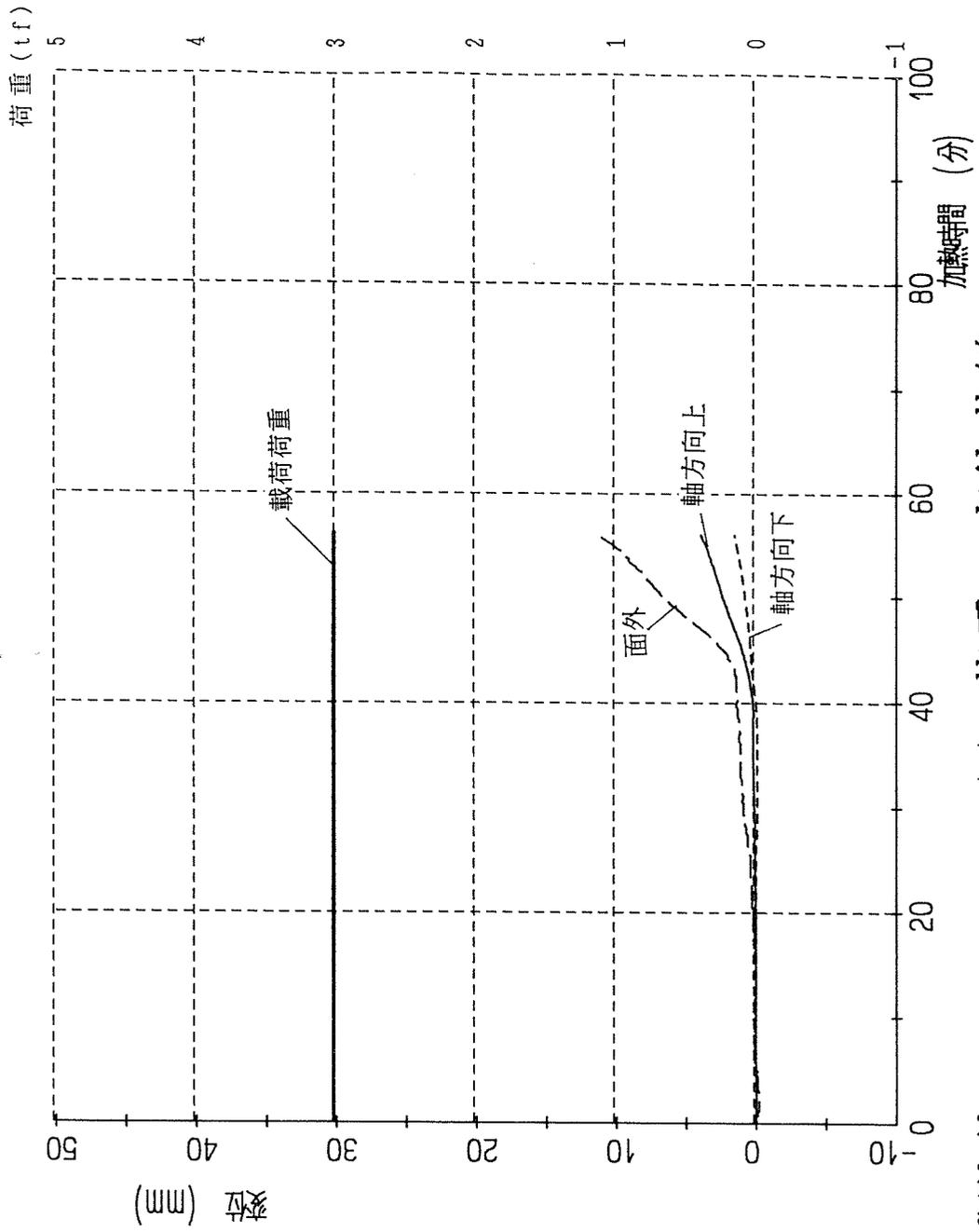
試験体EI-GB15+NP9 (C)、荷重-変位曲線

図 5・1・5-1



難燃合板裏面
 石膏ボード裏面
 柱・間柱表面
 構造用合板表面
 構造用合板裏面
 試験体裏面
 炉内温度
 ISO標準曲線

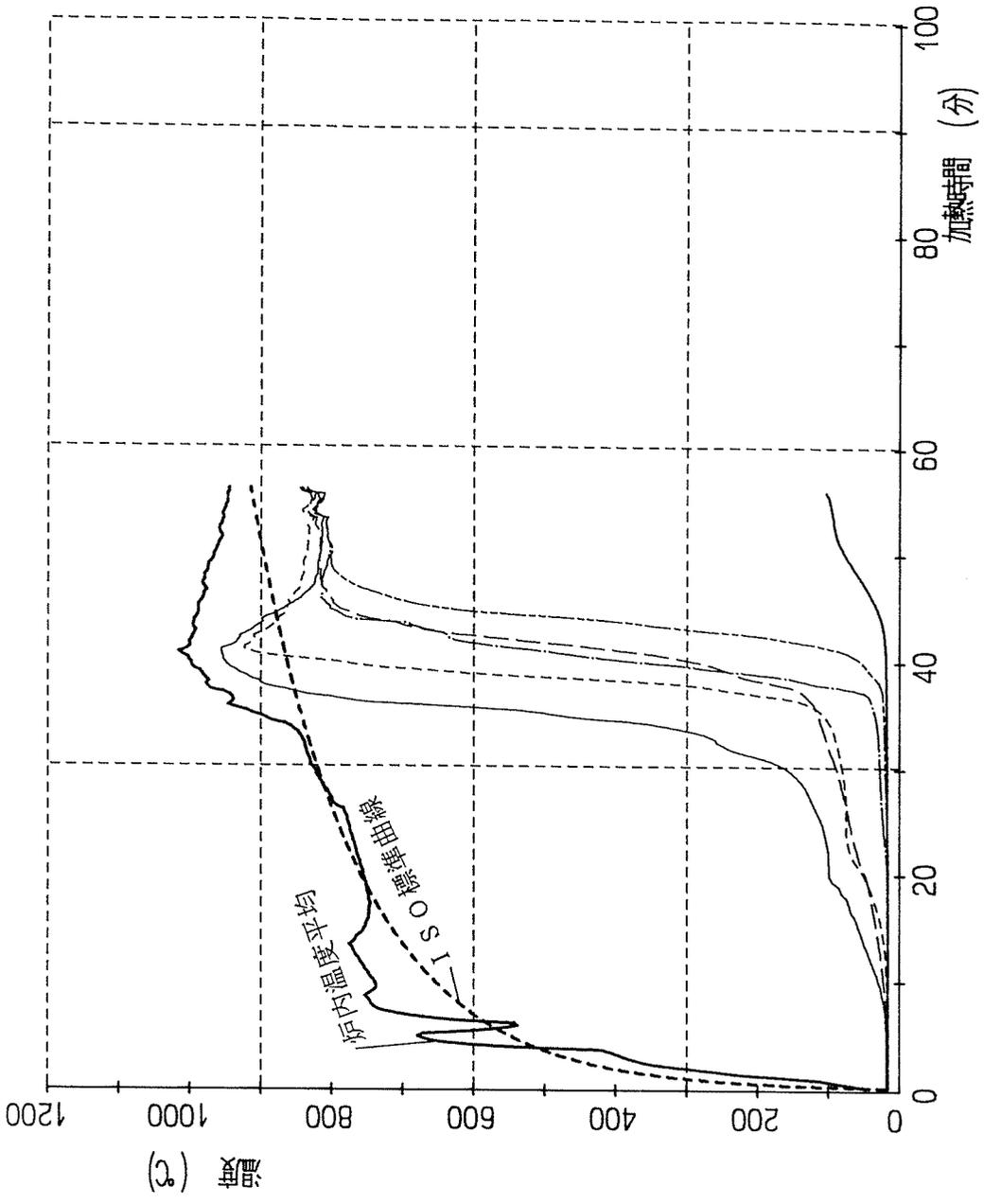
図 5・1・5-2 試験体 EI-GB15+NP9 (C)、各部温度平均



——— 軸方向上
 - - - 軸方向下
 - - - 面外
 ——— 載荷荷重

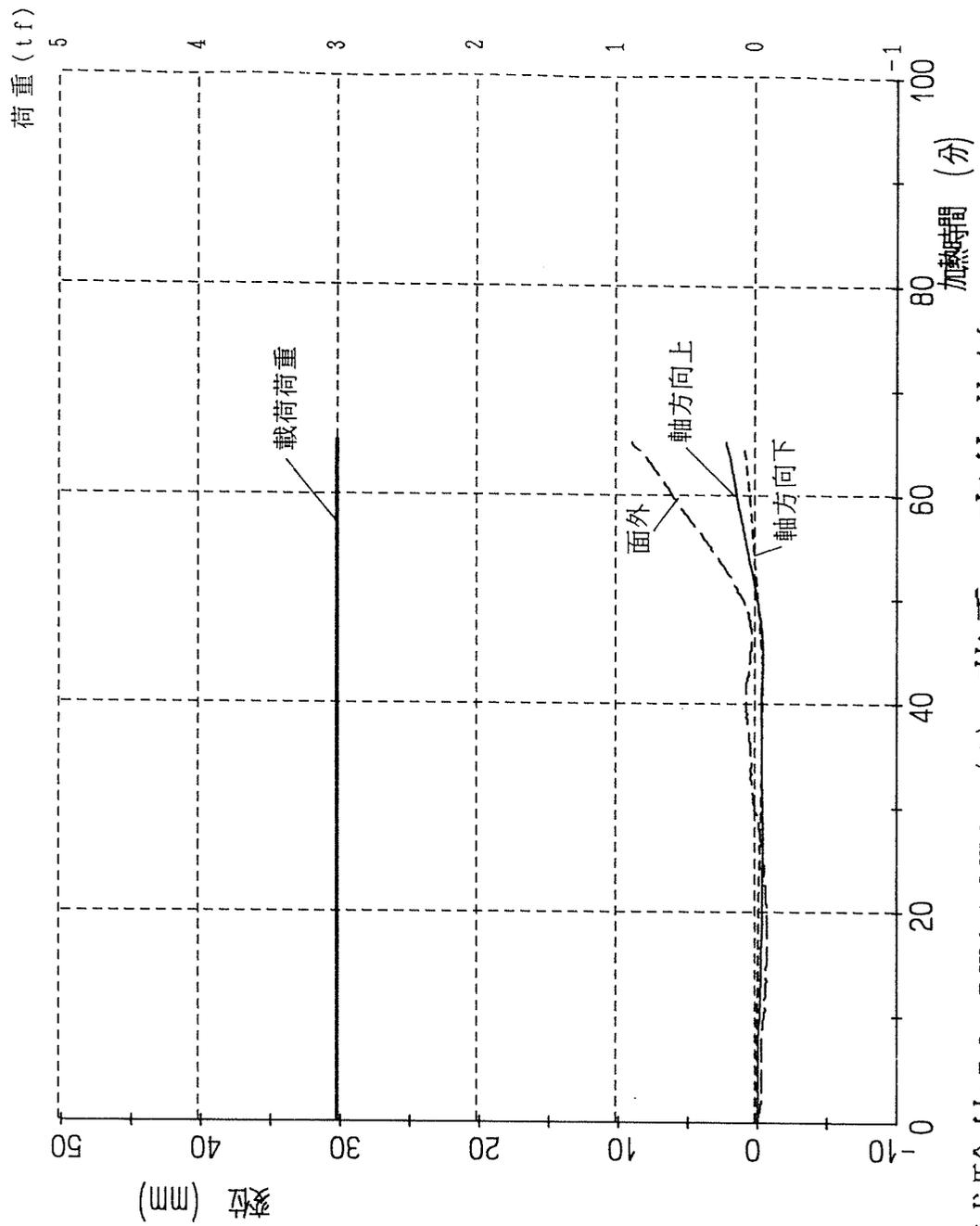
試験体EI-NP9+JW24(C)、荷重-変位曲線

図 5・1・6-1



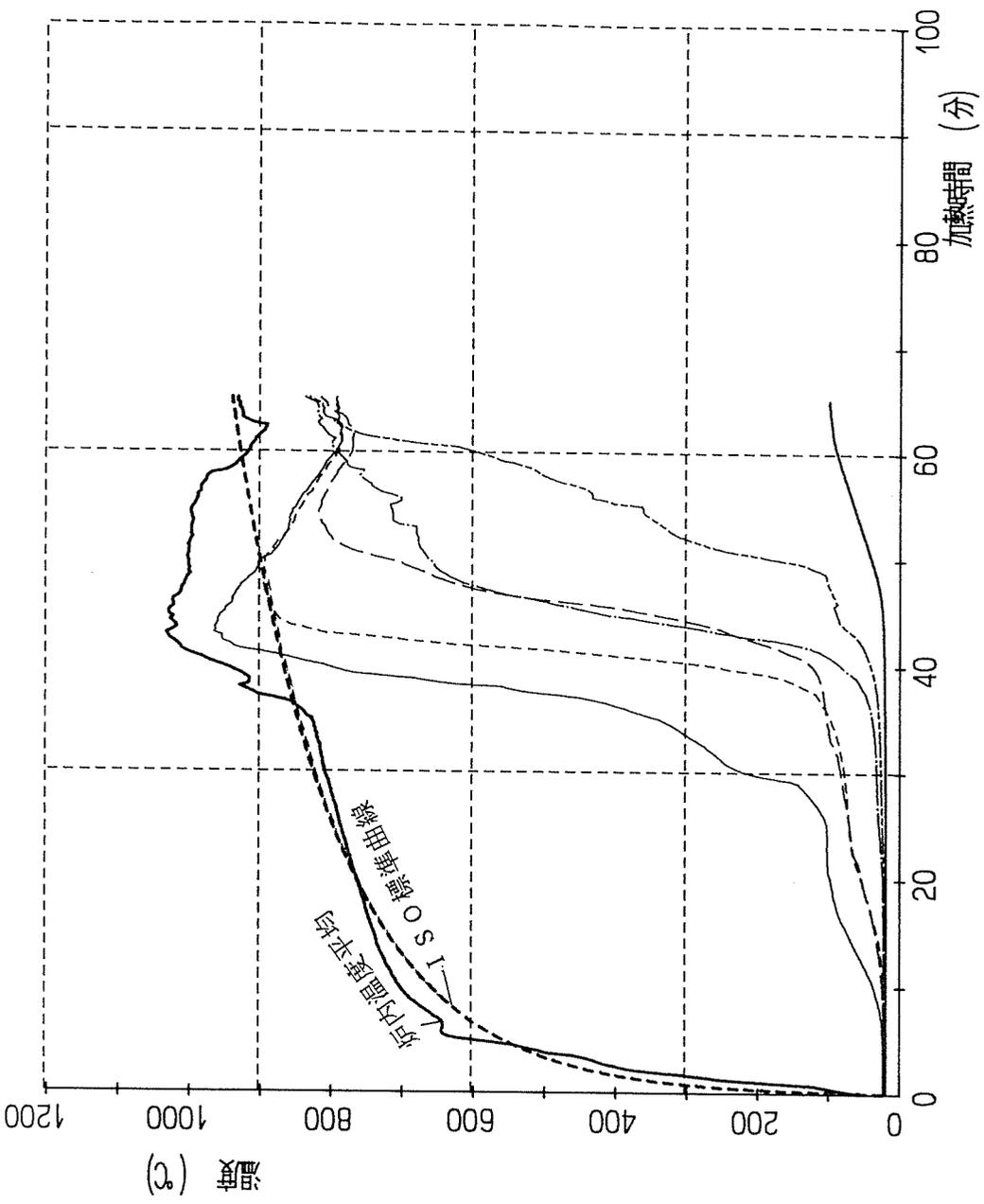
- 準不燃材裏面
- 難燃合板裏面
- - 柱、間柱表面
- · - 構造用合板表面
- · - 構造用合板裏面
- 試験体裏面
- 炉内温度
- - - ISO標準曲線

図 5・1・6-2 試験体 EI-NP9+JW24 (C)、各部温度平均



軸方向上
 軸方向下
 面外
 載荷荷重

図 5・1・7-1 試験体 EI-PW9+JW24 (C)、荷重-変位曲線



- 準不燃木材裏面
- - - 普通合板裏面
- · - 柱・間柱表面
- · - 構造用合板表面
- · - 構造用合板裏面
- 試験体裏面
- 炉内温度
- - - ISO標準曲線

図 5・1・7-2 試験体 EI-PW9+JW24 (C)、各部温度平均

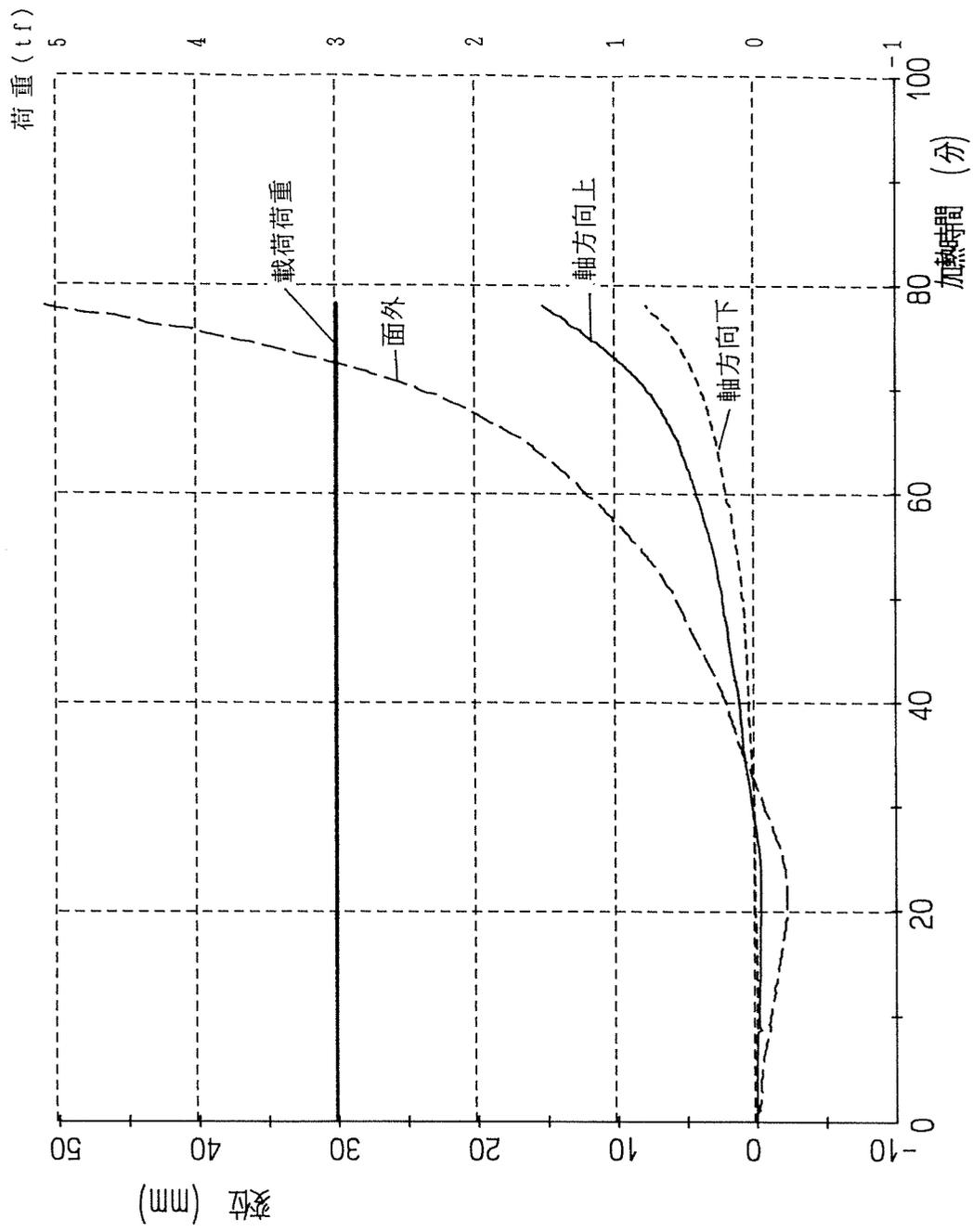
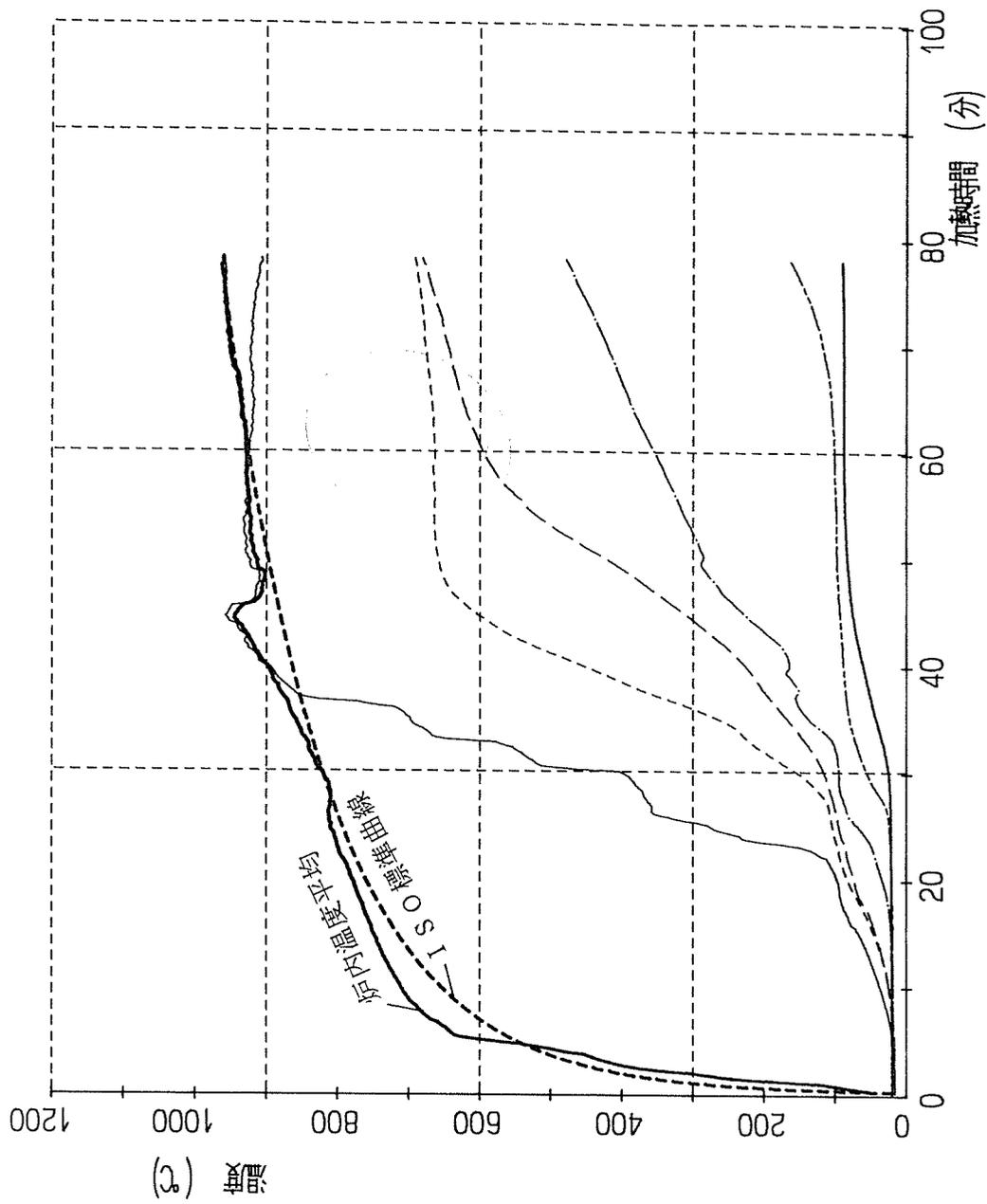


図 5.1.8-1 試験体 EE-KBN9+JW18 (C)、荷重—変位曲線

軸方向上
 軸方向下
 面外
 載荷荷重



- 準不燃木材裏面
- KBN 裏面
- 柱・間柱表面
- 下地石膏下表面
- 下地石膏上表面
- 試験体裏面
- 炉内温度
- ISO 標準曲線

図 5・1・8-2 試験体 EE-KBN9+JW18 (C)、各部温度平均

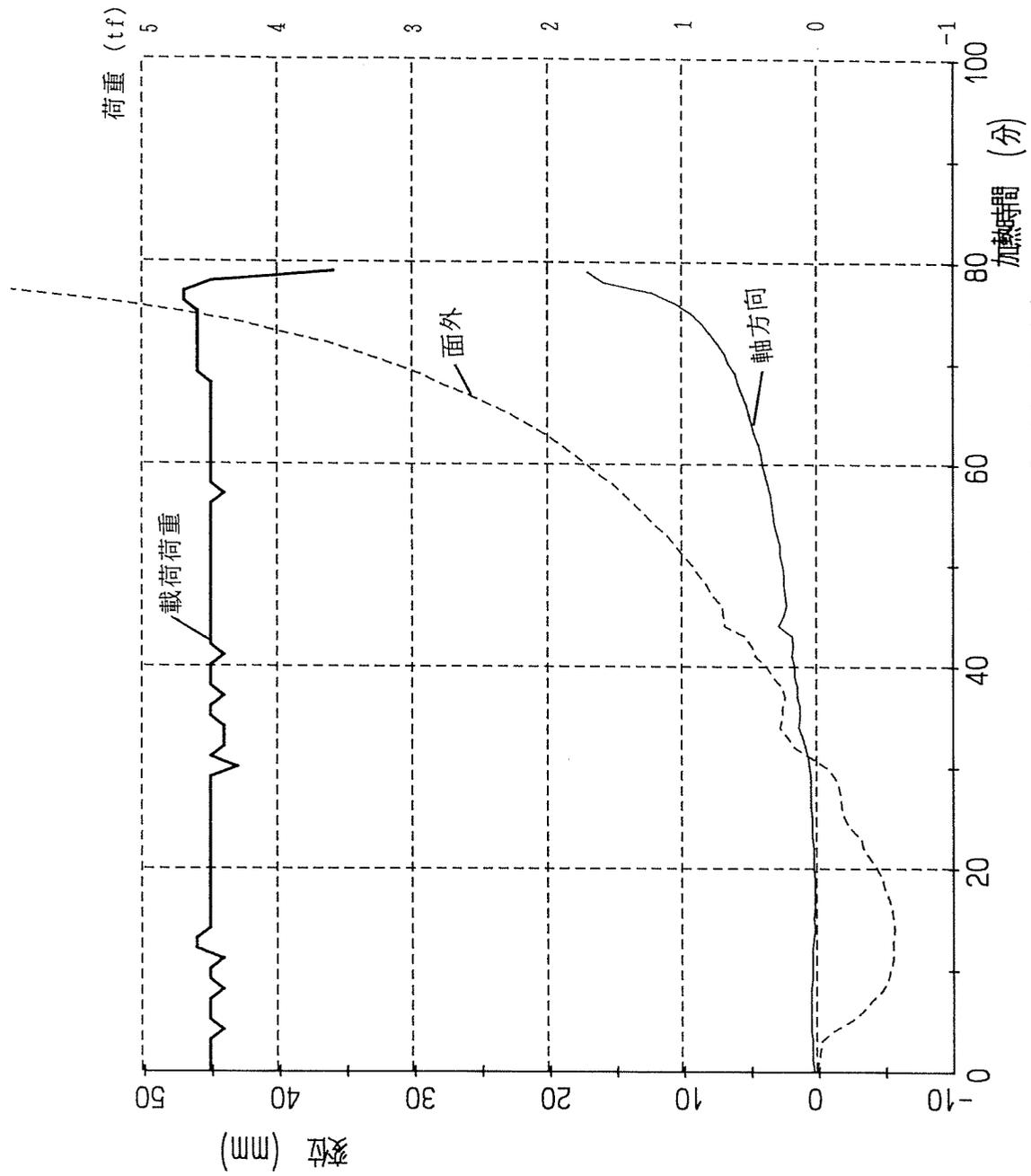
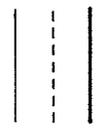


図5・1・9-1 試験体EE-LM20 (B)、荷重—変位曲線

軸方向
面外
載荷



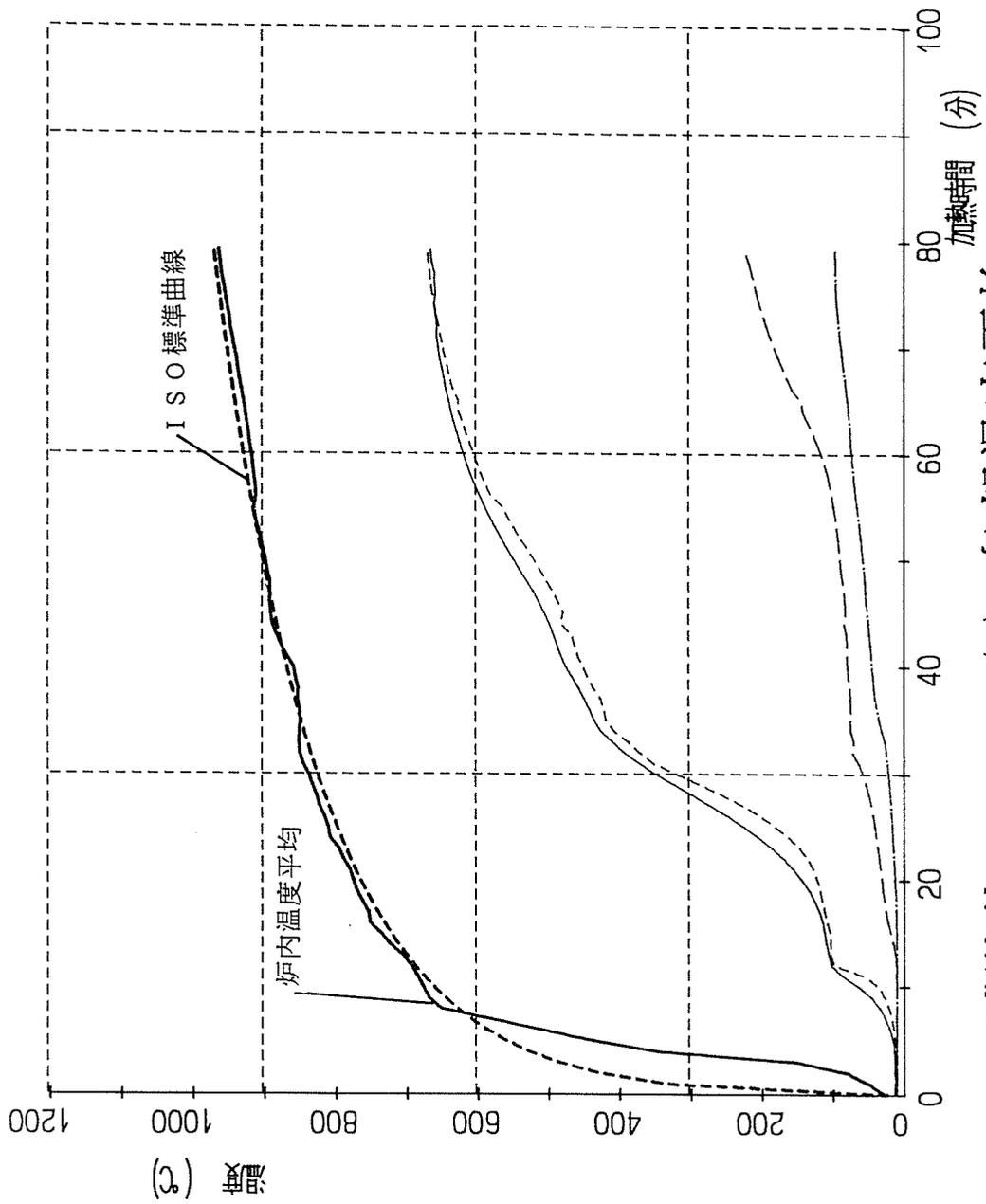
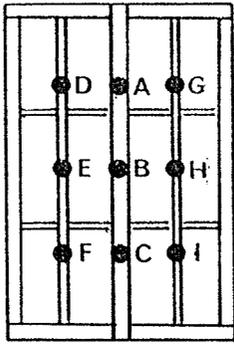


図5・1・9-2 試験体EE-LM20 (B)、各部温度平均

- ラスモルタル裏面
- - - 加熱側合板裏面
- · · 非加熱側合板裏面
- 試験体裏面
- 炉内温度
- - - ISO 標準曲線



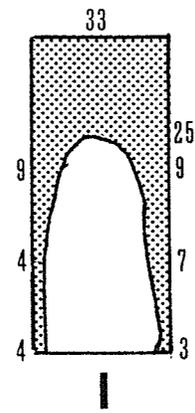
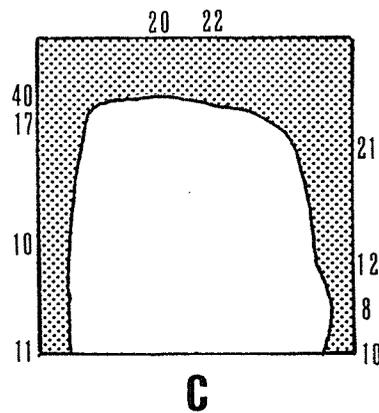
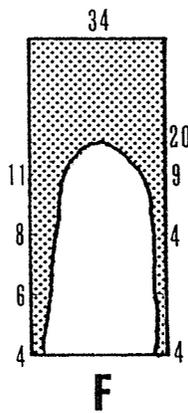
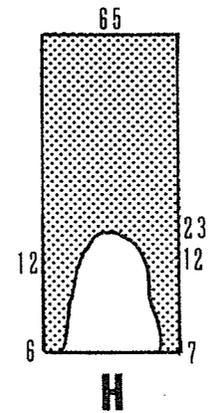
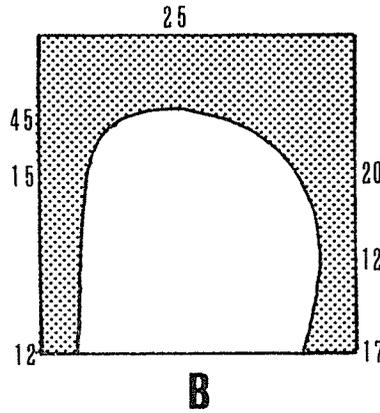
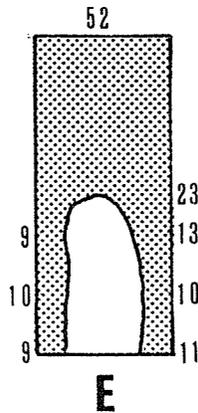
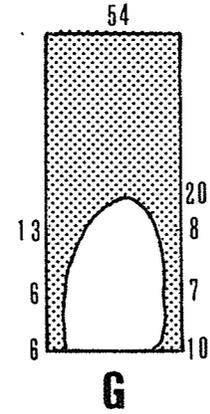
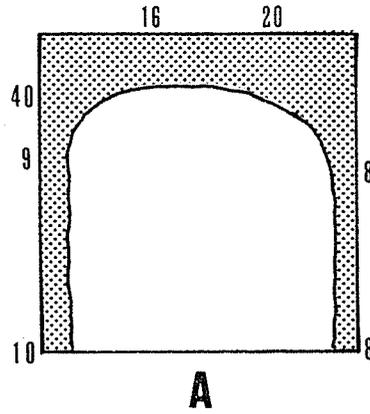
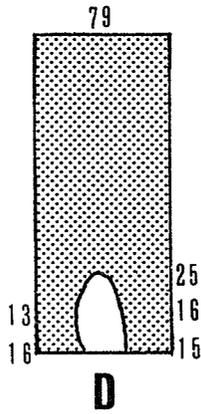
柱寸法 105×105

間柱寸法 45×105

単位：mm

炭化深さ測定位置

 : 炭化焼失部分



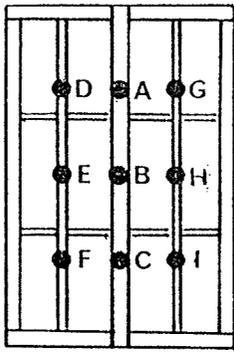
単位：mm

加熱時間：69分

試験体記号：EI-RB7+PL8(C)

図 5・2-1

炭化深さ測定結果



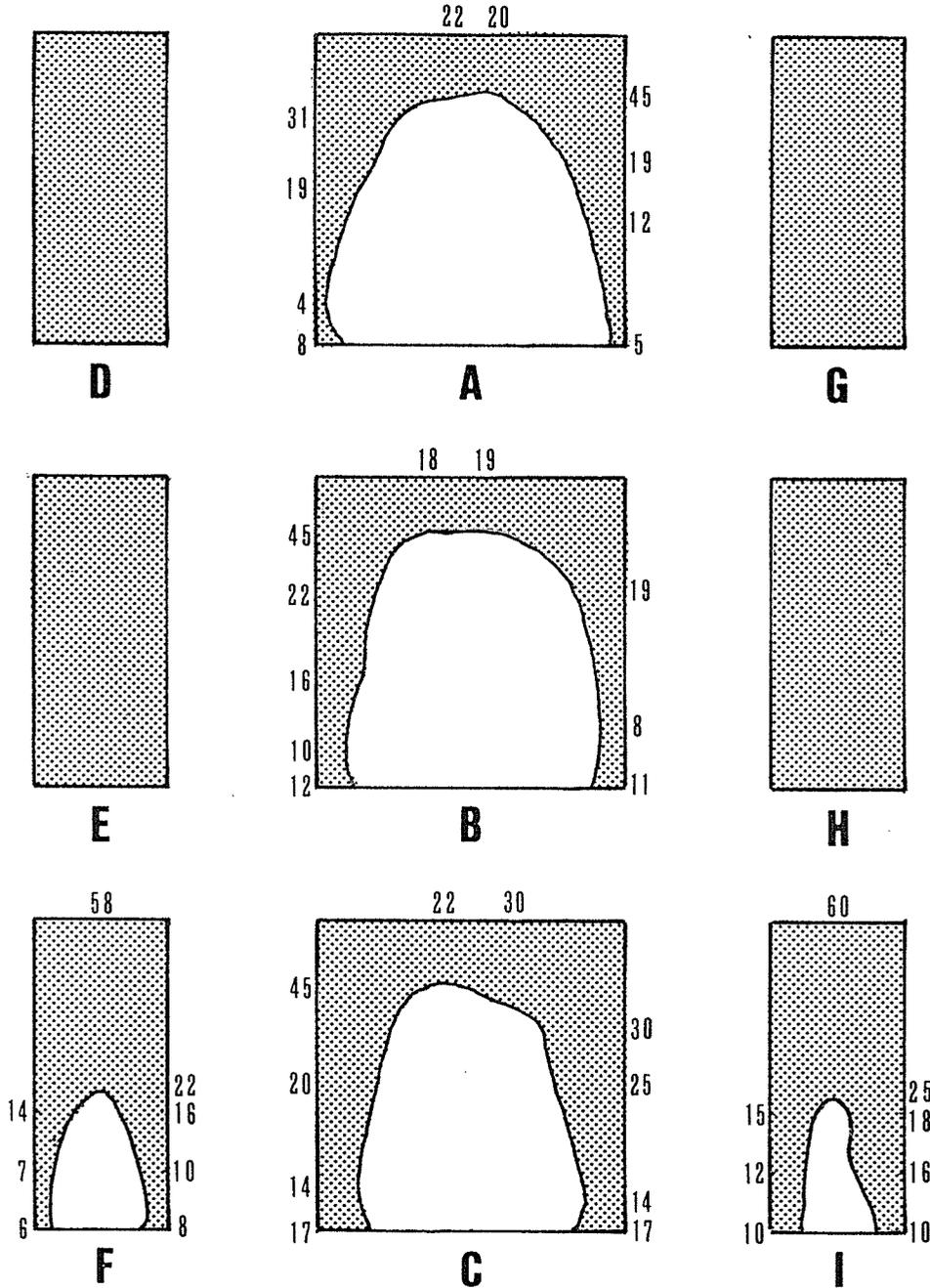
柱寸法 105×105

間柱寸法 45×105

単位：mm

炭化深さ測定位置

 : 炭化焼失部分



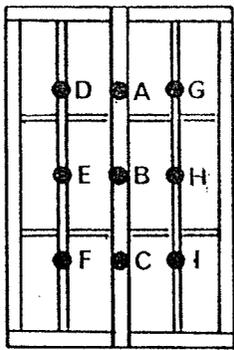
単位：mm

加熱時間：80分

試験体記号：EE-KP7.5+KS12(C)

☒ 5・2-2

炭化深さ測定結果

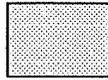


柱寸法 105×105

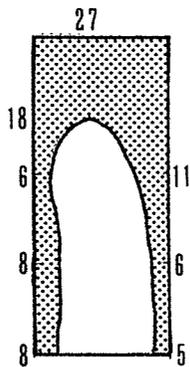
間柱寸法 45×105

単位：mm

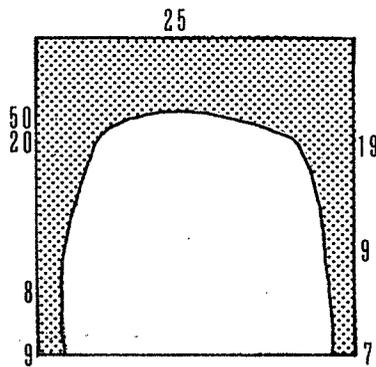
炭化深さ測定位置



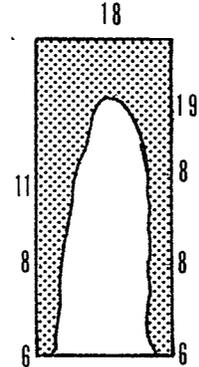
：炭化焼失部分



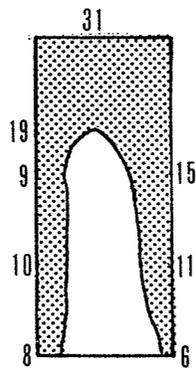
D



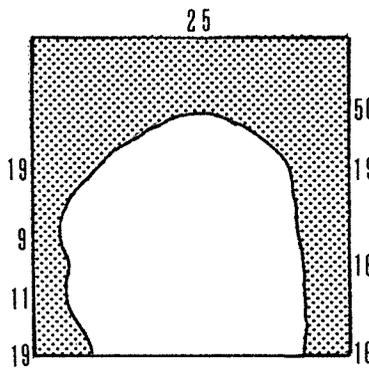
A



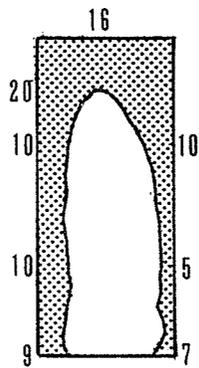
G



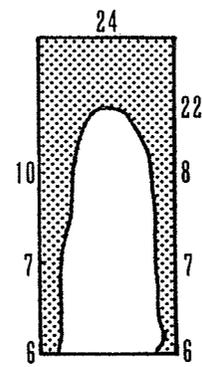
E



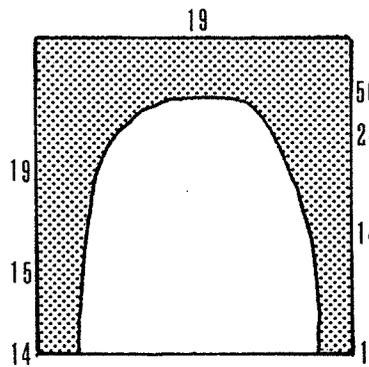
B



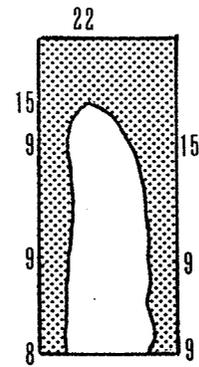
H



F



C



I

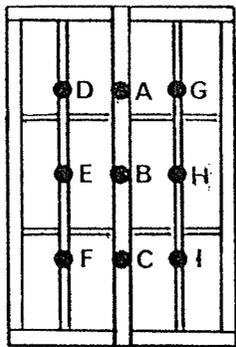
単位：mm

加熱時間：66分

試験体記号：EI-NP9+GB15(C)

図 5・2-3

炭化深さ測定結果

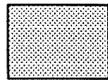


柱寸法 105×105

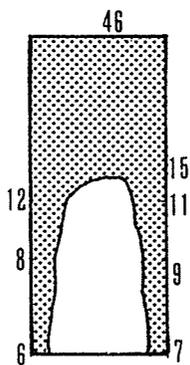
間柱寸法 45×105

単位：mm

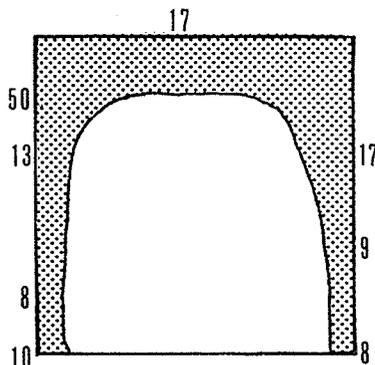
炭化深さ測定位置



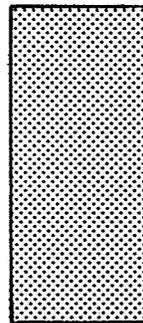
：炭化焼失部分



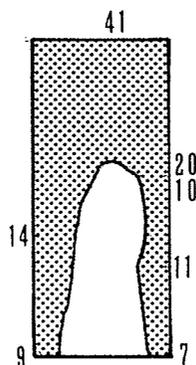
D



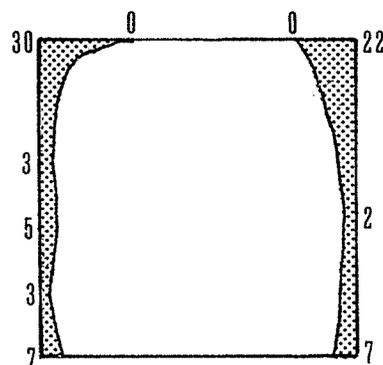
A



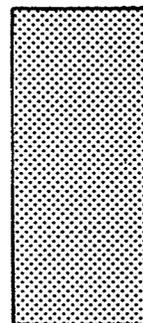
G



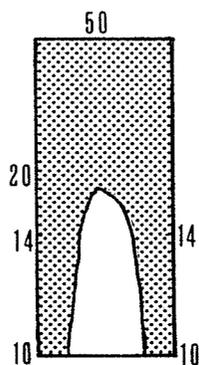
E



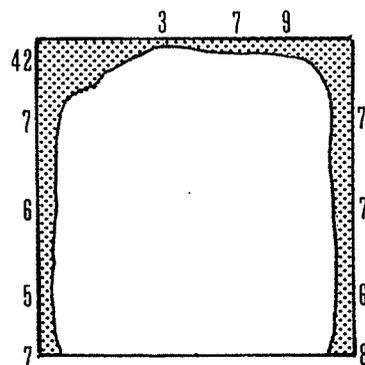
B



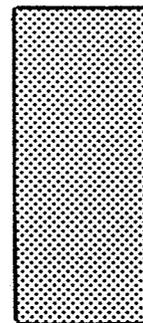
H



F



C



I

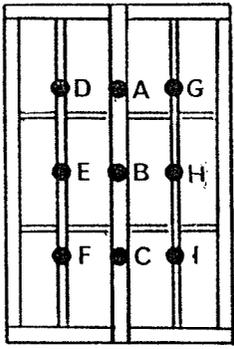
単位：mm

加熱時間：87分

試験体記号：EE-KP7.5+KS18(C)

図 5・2-4

炭化深さ測定結果

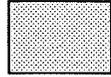


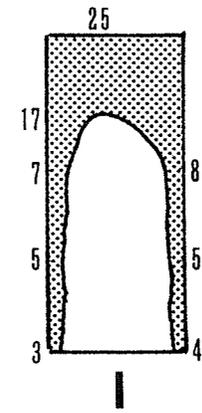
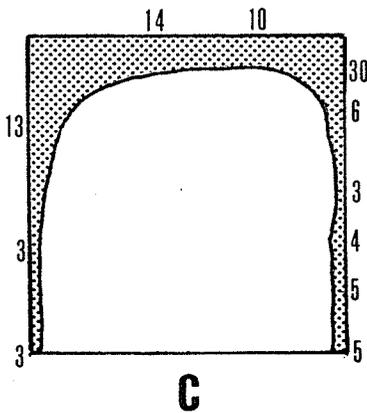
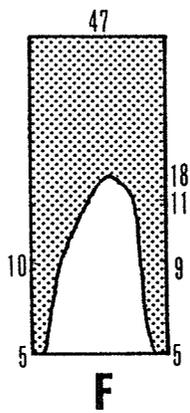
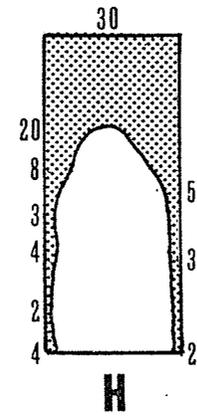
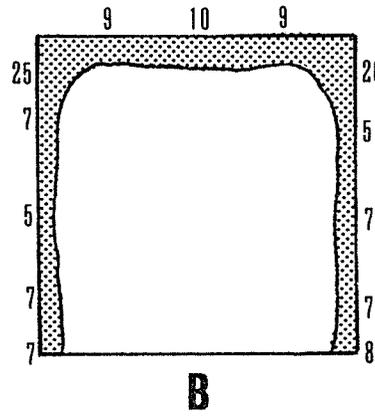
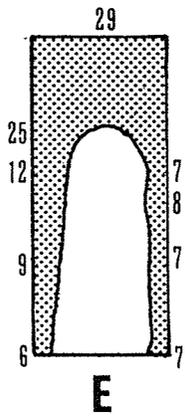
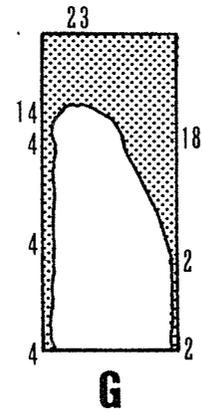
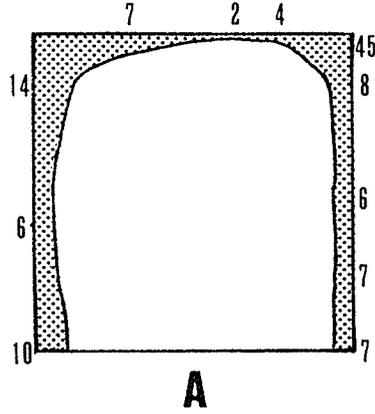
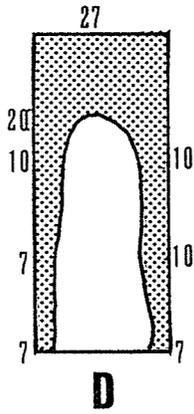
柱寸法 105×105

間柱寸法 45×105

単位：mm

炭化深さ測定位置

 : 炭化焼失部分



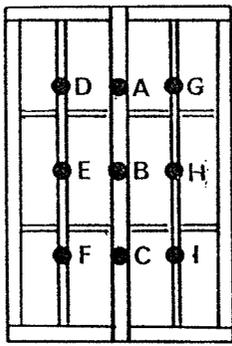
加熱時間：67分

試験体記号：EI-GB15+NP9(C)

単位：mm

図 5・2-5

炭化深さ測定結果

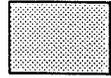


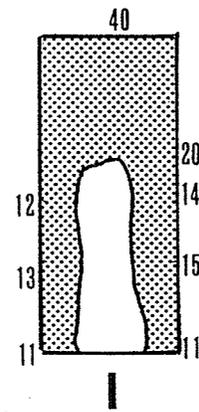
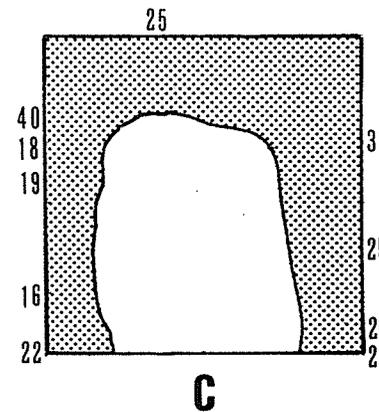
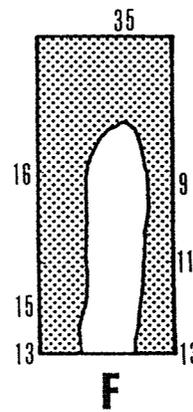
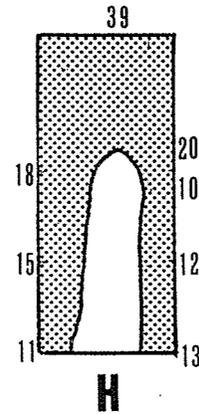
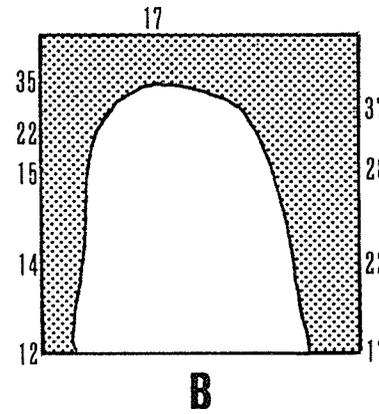
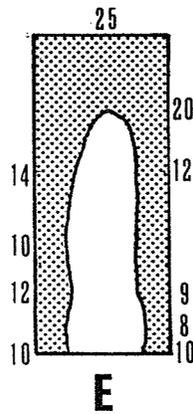
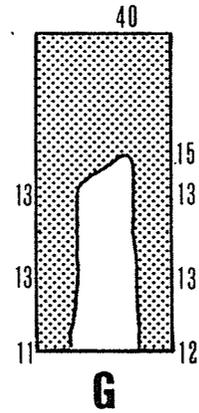
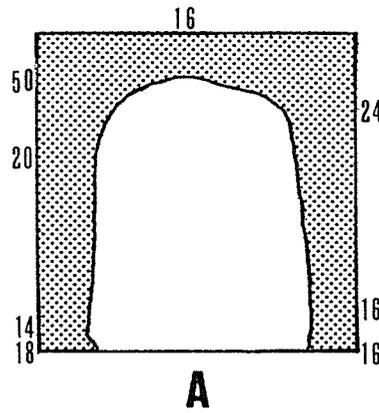
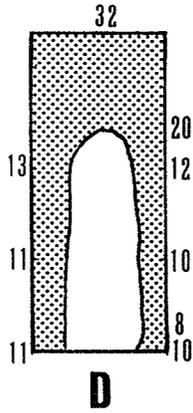
柱寸法 105×105

間柱寸法 45×105

単位：mm

炭化深さ測定位置

 : 炭化焼失部分



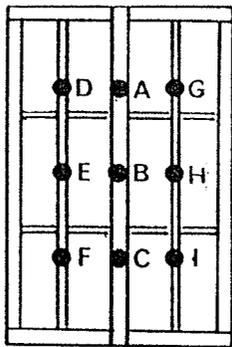
単位：mm

加熱時間：56分

試験体記号：EI-NP9+JW24(C)

図 5・2-6

炭化深さ測定結果

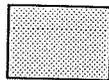


柱寸法 105×105

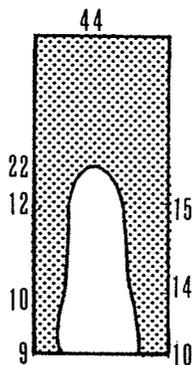
間柱寸法 45×105

単位：mm

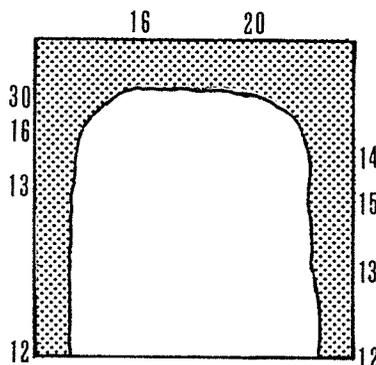
炭化深さ測定位置



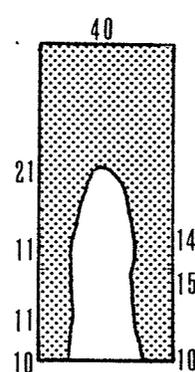
：炭化焼失部分



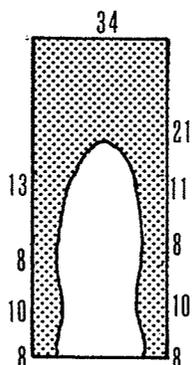
D



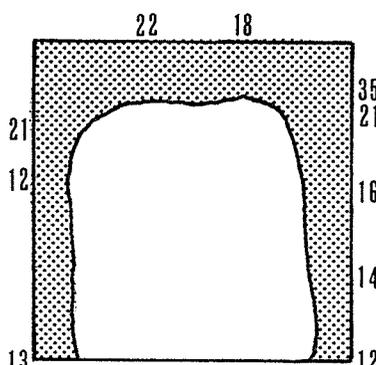
A



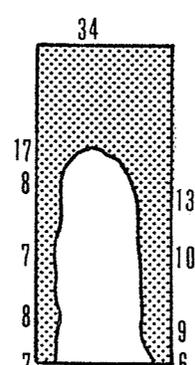
G



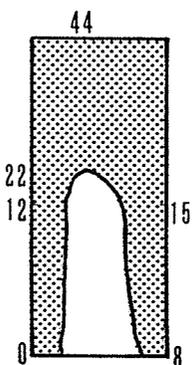
E



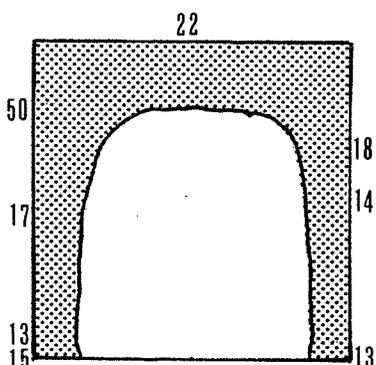
B



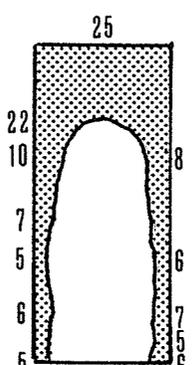
H



F



C



I

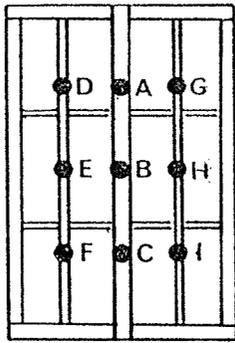
単位：mm

加熱時間：65分

試験体記号：E I - PW9 + JW24 (C)

図 5・2-7

炭化深さ測定結果

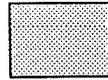


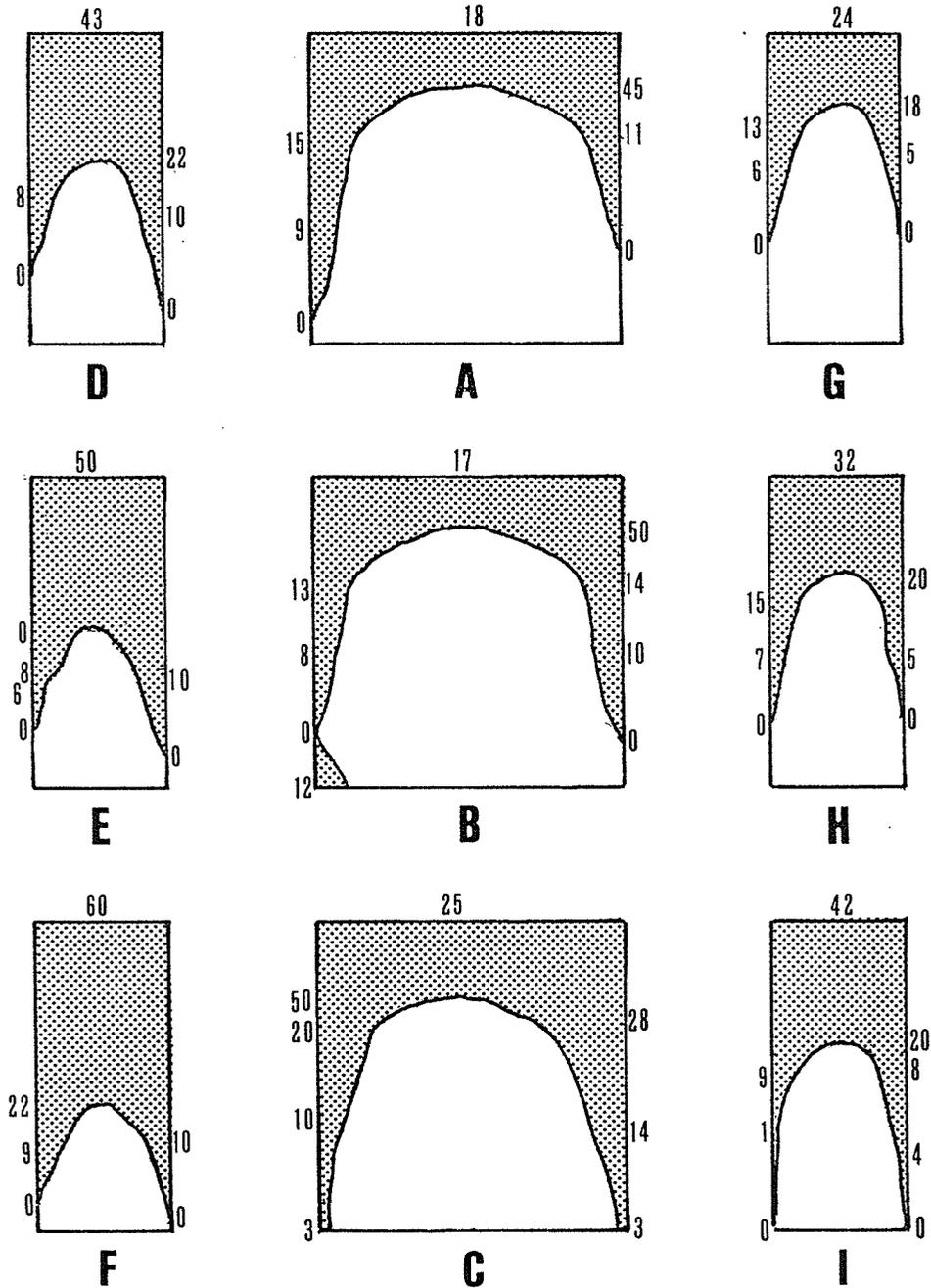
柱寸法 105×105

間柱寸法 45×105

単位：mm

炭化深さ測定位置

 : 炭化焼失部分



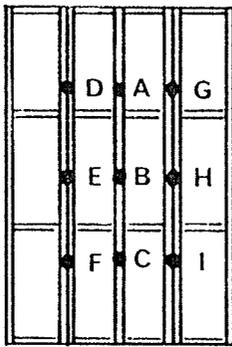
単位：mm

加熱時間：78分

試験体記号：EE-KBN9+JW18(C)

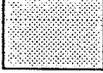
図 5.2-8

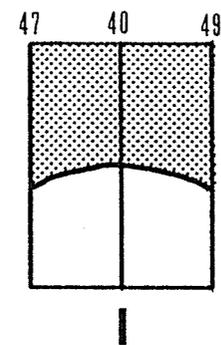
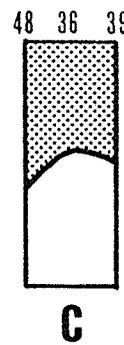
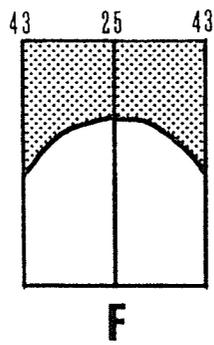
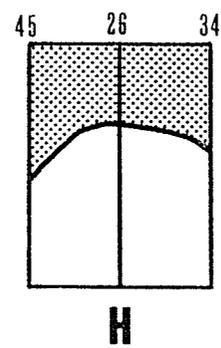
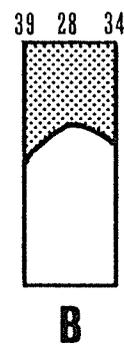
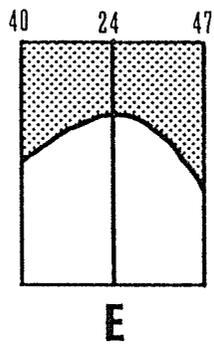
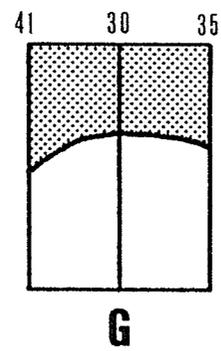
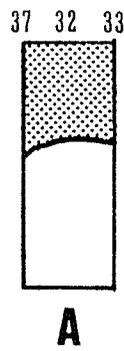
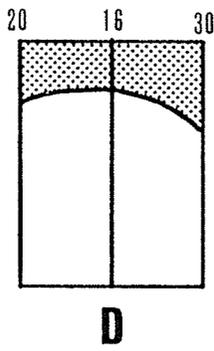
炭化深さ測定結果



パネル芯材寸法 30X81 (mm)

炭化深さ測定位置

 : 炭化焼失部分



単位：mm

加熱時間：78分

試験体記号：EE-LM20(B)

図5・2-9

炭化深さ測定結果

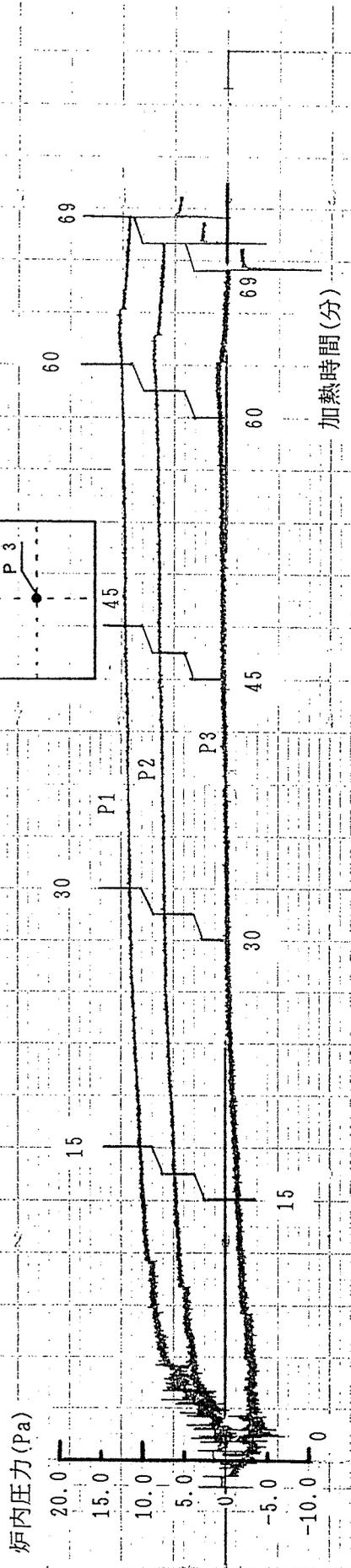


図 5.3-1 試験体 EI-RB7+PL8 (C) 各位置炉内圧力

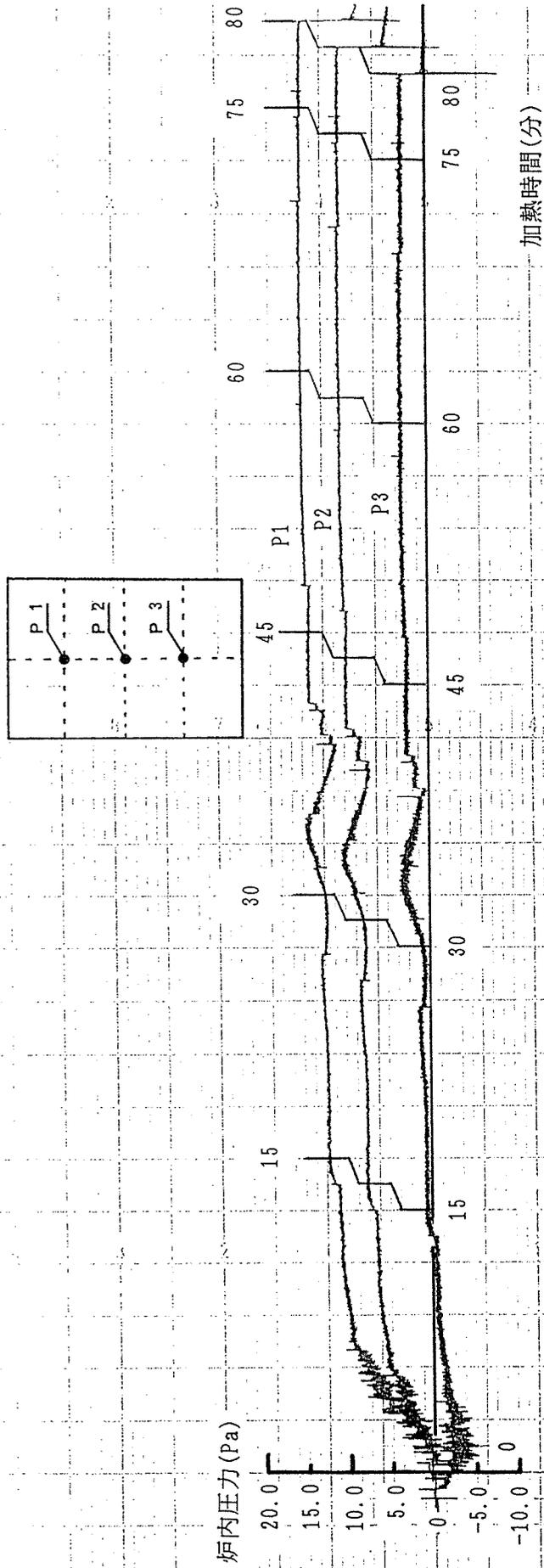


图 5.3-2 试验体 EE-KP7.5+KS12 (C) 各位置炉内压力

EI-NP7.5+GB15(C)

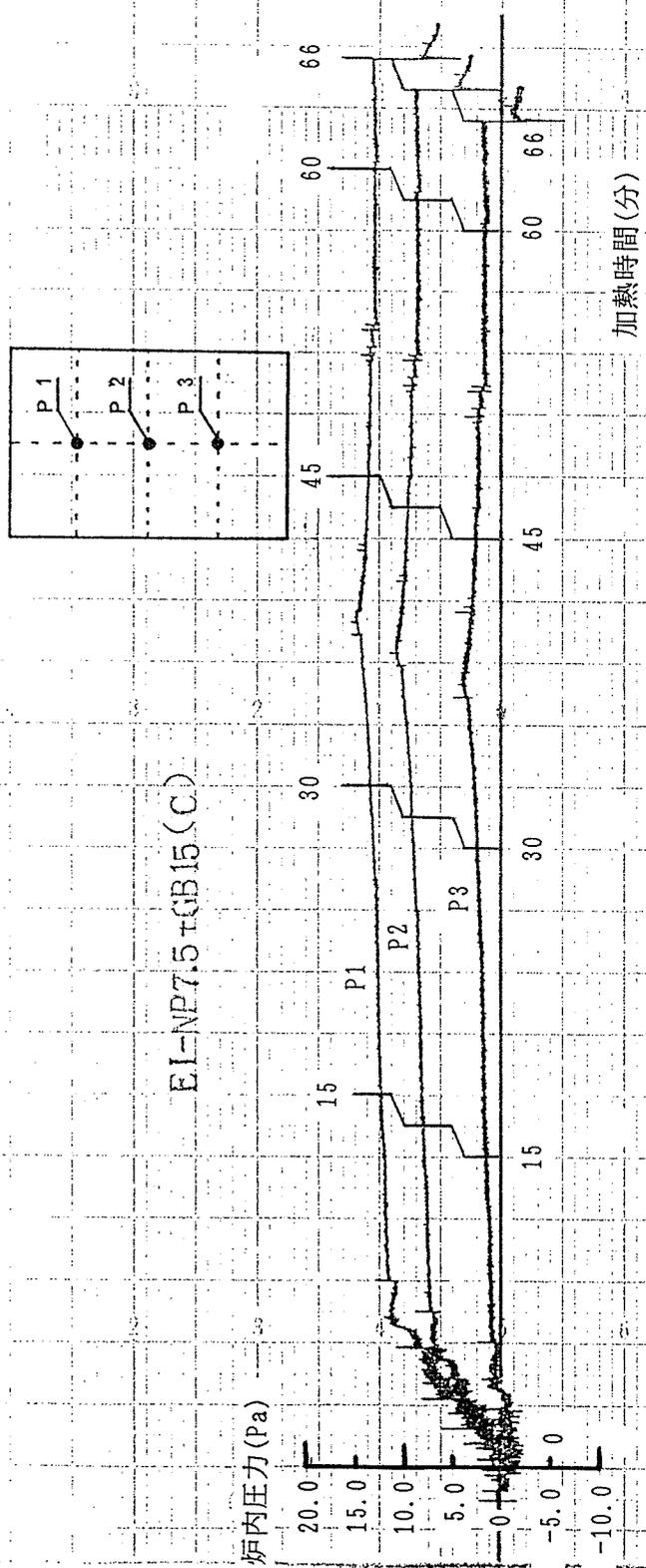


図 5・3-3 試験体 EI-NP9+GB15 (C) 各位置炉内圧力

EE-KP7.5+KS18(C)

87'00"

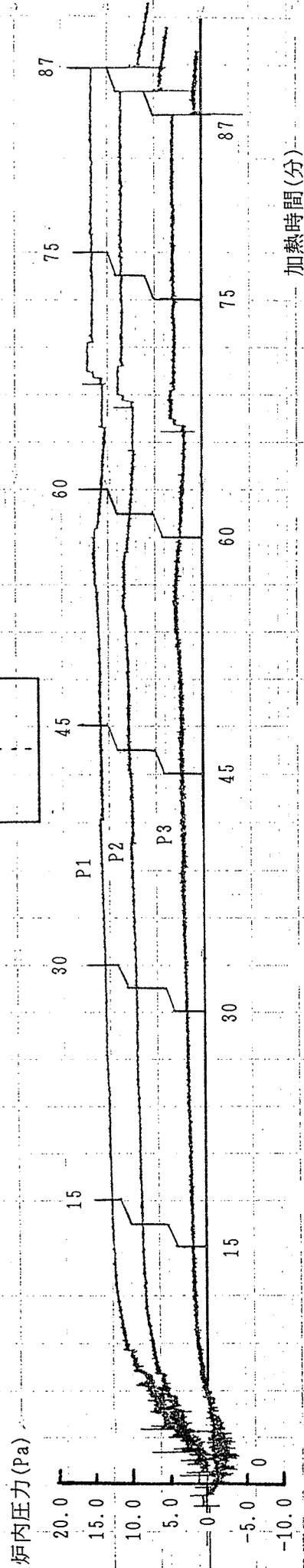
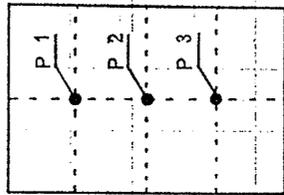


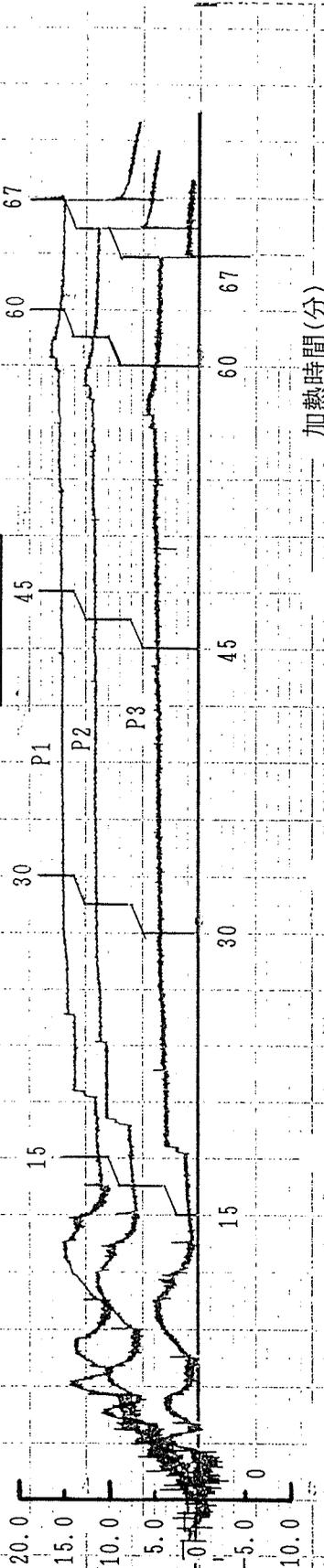
図 5.3-4 試験体 EE-KP7.5+KS18(C) 各位置炉内压力

EI-GB15+NP9(C)

67'00"



炉内压力 (Pa)



加熱時間(分)

図 5.3-5 試験体 EI-GB15+NP9 (C) 各位置炉内圧力

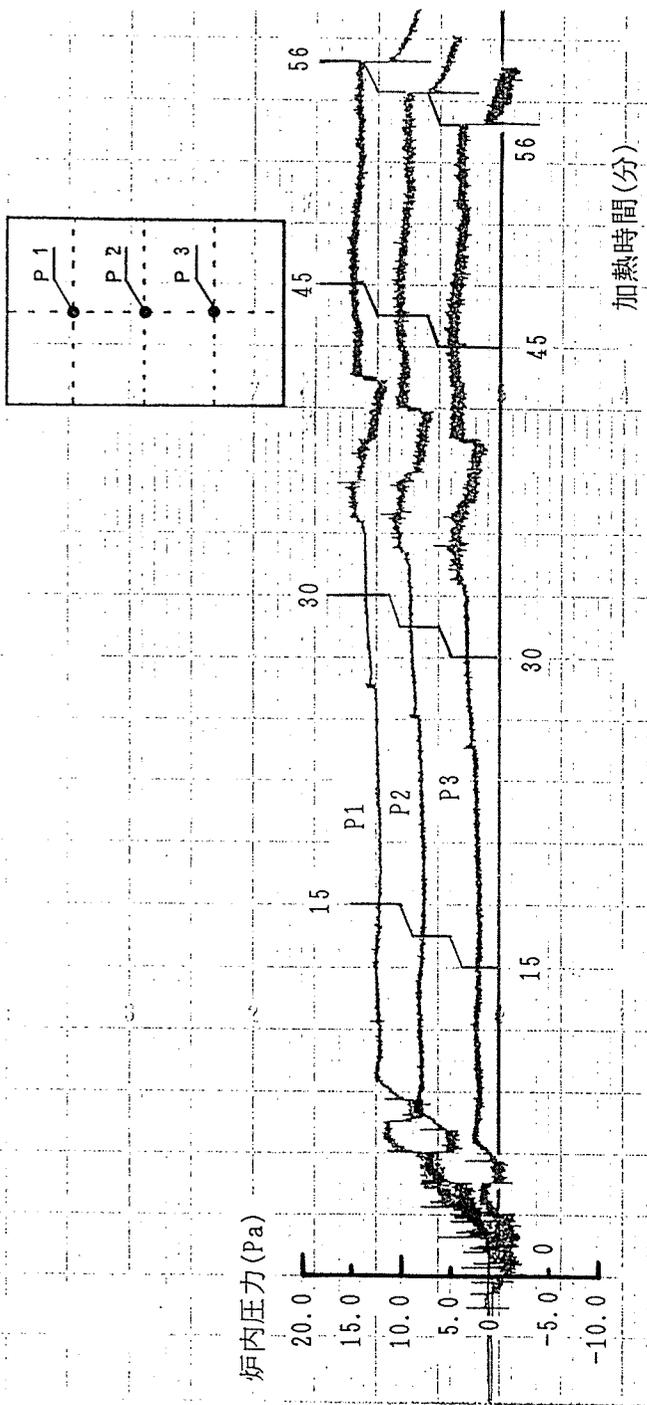


図 5・3-6 試験体 EI-NP9+JW24 (C) 各位置炉内压力

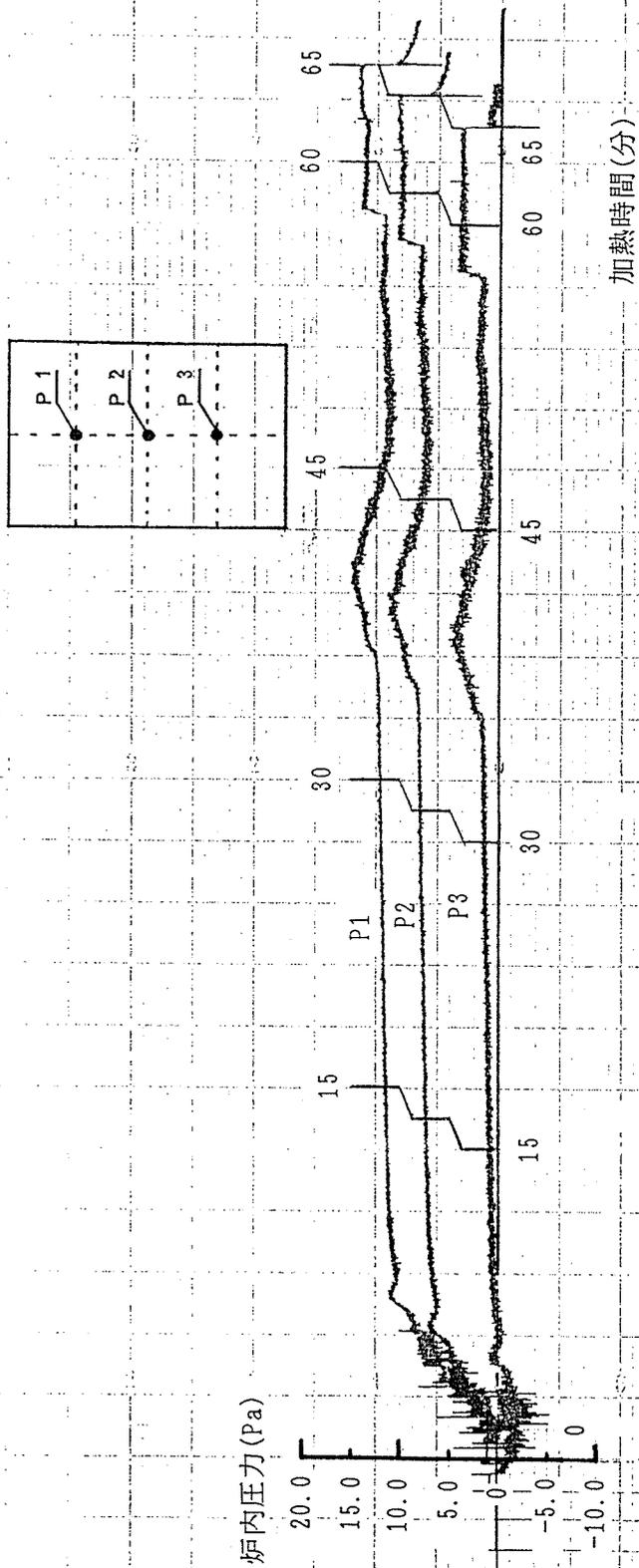


图 5.3-7 试验体 EI-PW9+JW24 (C) 各位置炉内压力

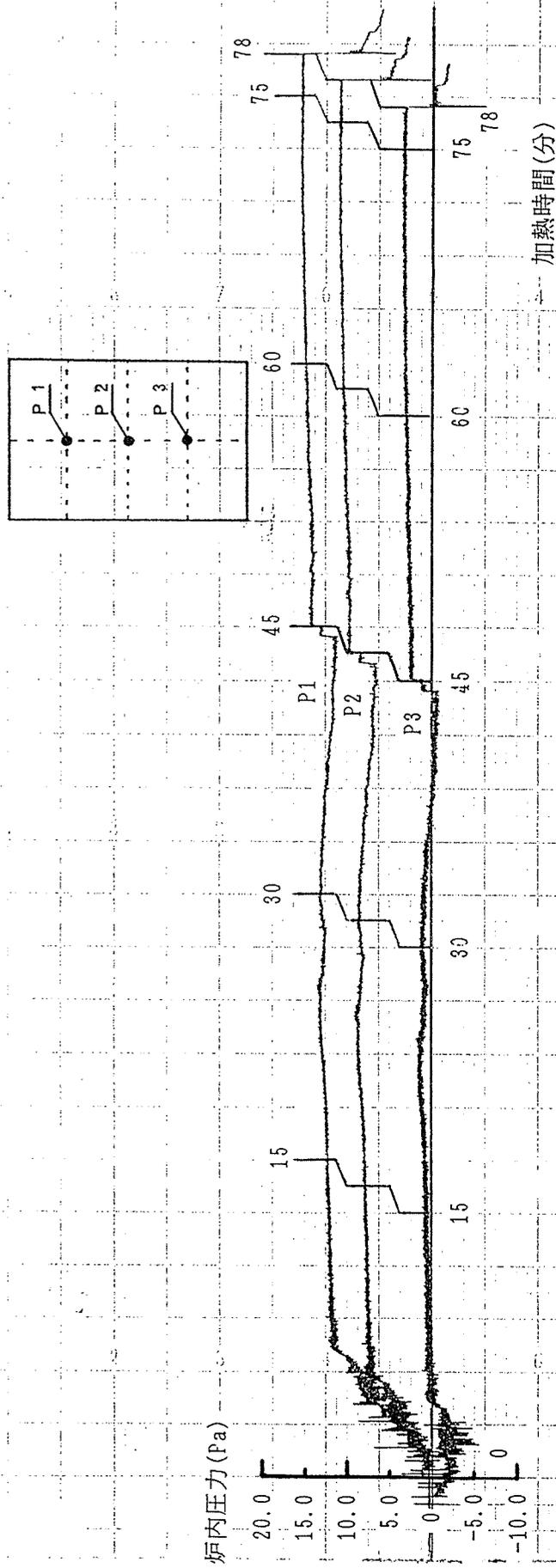


图 5·3-8 试验体 EE-KBN9+JW18 (C) 各位置炉内压力

7. 参考資料

試験体各測定位置の温度変化を別図 1 - 1 ~ 別図 9 - 5 に示す。

(1) EI-RB7+PL8(C)	別図 1 - 1 ~ 別図 1 - 7
(2) EE-KP7.5+KS12(C)	別図 2 - 1 ~ 別図 2 - 7
(3) EI-NP9+GB15(C)	別図 3 - 1 ~ 別図 3 - 7
(4) EE-KP7.5+KS18(C)	別図 4 - 1 ~ 別図 4 - 7
(5) EI-GB15+NP9(C)	別図 5 - 1 ~ 別図 5 - 7
(6) EI-NP9+JW24(C)	別図 6 - 1 ~ 別図 6 - 7
(7) EI-PW9+JW24(C)	別図 7 - 1 ~ 別図 7 - 7
(8) EE-KBN9+JW18(C)	別図 8 - 1 ~ 別図 8 - 7
(9) EE-LM20(B)	別図 9 - 1 ~ 別図 9 - 5

試験体各測定位置の一定時間ごとの温度を別表 1 - 1 ~ 別表 9 - 10 に示す。

(1) EI-RB7+PL8(C)	別表 1 - 1 ~ 別表 1 - 14
(2) EE-KP7.5+KS12(C)	別表 2 - 1 ~ 別表 2 - 14
(3) EI-NP9+GB15(C)	別表 3 - 1 ~ 別表 3 - 14
(4) EE-KP7.5+KS18(C)	別表 4 - 1 ~ 別表 4 - 14
(5) EI-GB15+NP9(C)	別表 5 - 1 ~ 別表 5 - 14
(6) EI-NP9+JW24(C)	別表 6 - 1 ~ 別表 6 - 14
(7) EI-PW9+JW24(C)	別表 7 - 1 ~ 別表 7 - 14
(8) EE-KBN9+JW18(C)	別表 8 - 1 ~ 別表 8 - 14
(9) EE-LM20(B)	別表 9 - 1 ~ 別表 9 - 10

各試験体の試験時の観察記録を表 観 - 1 ~ 表 観 - 9 に示す。

(1) EI-RB7+PL8(C)	表 観 - 1
(2) EE-KP7.5+KS12(C)	表 観 - 2
(3) EI-NP9+GB15(C)	表 観 - 3
(4) EE-KP7.5+KS18(C)	表 観 - 4
(5) EI-GB15+NP9(C)	表 観 - 5
(6) EI-NP9+JW24(C)	表 観 - 6
(7) EI-PW9+JW24(C)	表 観 - 7
(8) EE-KBN9+JW18(C)	表 観 - 8
(9) EE-LM20(B)	表 観 - 9 〇