

体育館での床暖房に関する研究

- 床の弾力性の測定および評価方法 -

澤田哲則	大宮康則
山岸宏一	前田典昭 ^{*1}
大澤清志 ^{*2}	井上英彦 ^{*3}
南部公洋 ^{*4}	豊田積信 ^{*4}
川田勉 ^{*5}	

Developing a Floor Heating System for a Gymnasium

- Measurement and Evaluation of Floor Elasticity -

Tetsunori SAWADA	Yasunori OHMIYA
Koichi YAMAGISHI	Noriaki MAEDA
Kiyoshi OHSAWA	Hidehiko INOUE
Masahiro NANBU	Sekinobu TOYODA
Tsutomu KAWATA	

Recently it has been getting more necessary to develop a floor heating system for a gymnasium. There are a number of properties required of a gymnasium floor, but the authors have taken notice of its elasticity and ways of its measurement and evaluation as described in JIS A 6519, since the elasticity is closely related to athletes' safety and comfortableness. The ways were applied to measuring the elasticity of a rubber-chip panel, a labo-scale model floor and an actual gymnasium floor. As a result, it was found that by adjusting the elasticity of the rubber-chip panel it is possible to build a floor which is suitable for floor heating and whose elasticity satisfies JIS.

体育館への床暖房導入が積極的に検討され、そのシステム開発が期待されている。本報では体育館床に要求される諸性能の中から、特に運動時の安全性・運動適性と密接な関係にある床の弾力性の測定方法、および評価方法（JIS A 6519に規定されている）に着目した。これらの方法を用いてゴムチップパネルや既存体育館の弾力性を測定した結果、ゴムチップパネルの弾力性を調整することで、床の弾力性規格に適合できる床暖房用の床構造が開発可能であることがわかった。

1. はじめに

近年、余暇機会の増加によって体育館利用者層の多

様化が進むとともに、多目的使用のニーズが増大している。それに伴って体育館での快適な温度環境に対す

る利用者の要望が高まっている。これらの状況を反映して本道などの寒冷な地域においては、暖房設備の導入、整備が積極的に進められている。

温水式床暖房は省エネルギー性が高く、体感温度の快適性に優れ、競技性を損ねないなどの特徴を有するため、体育館の暖房方式としてのシステム開発が期待されている。しかし、施工面積が一般住宅の床暖房とは比較にならないほど大面積であること、運動によって発生する衝撃力や振動に対する部材の耐久性が要求されること、また床暖房の導入によって床構成が変化するため、床の安全性・運動適性を確保するための方策が必要とされることなど、検討を要する課題が多く残されている。

本報では、体育館床の安全性・運動適性を左右する大きな要因とされる床の弾力性に着目し、その測定・評価方法について検討した。

なお、本研究ではゴムチップパネルの用途開発研究の一環として、体育館の床暖房用材への適用の可能性を検討しており、内容の一部は第23回木材学会北海道支部大会（1990年10月、札幌市）で発表した¹⁾。

2. 暖房方式とゴムチップパネルについて

2.1 体育館の暖房方式

主な体育館の暖房方式とそれぞれの特徴を第1表に示す。既存の暖房設備では、暖房を入れてから暖かく感じるまでに時間がかかる、頭が熱くなっても足元が寒い、などの問題が生じており、必ずしも体育館の暖房方式として適当なものとは評価されていない。

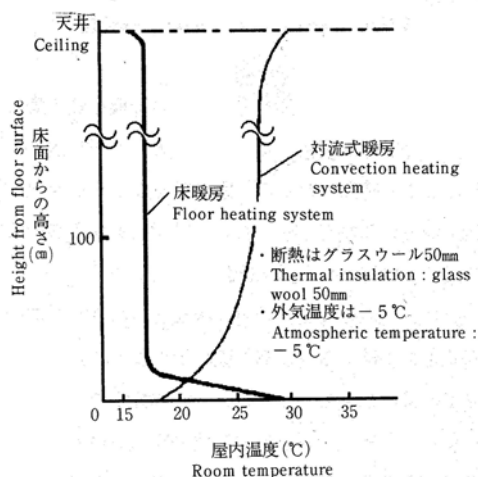
一般に、従来の対流式暖房と床暖房での垂直方向の温度分布を比較すると、第2図に示すように足元と上部部での温度は逆転する²⁾。よって体育館のように屋根が高く、大きな空間を有する建築物においては、体感温度の快適性や省エネルギー性の点から床暖房方式が有効と考える。

2.2 床暖房用ゴムチップパネル

床暖房用ゴムチップパネルは、既に一般住宅向けとしては実績がある。その主な原料構成ならびに製造工程を第2図に示す。工程はパーティクルボードのものと似ているが、フォーミングの部分で不織布や放熱体のセッティングプロセスが加わるなど、やや複雑なものとなっている。また放熱体を埋め込むためにフォーミングが2段階になること、プレス時の温度および圧

第1表 主な体育館暖房設備の特徴
Table 1. Features of heating systems for gymnasium

特徴 Feature	暖房方式 Heating system	輻射式 Radiant heating	温風ダクト式 Hot air duct heating	ゴムチップパネル 温水床暖房方式 Rubber-chip panel hot water floorheating
ランニングコスト Consumption of fuel		1	1	1 / 2
施工性、施工技術 Equipment work		easy	easy	technical
補修、修理、移設 Repair and maintenance		easy	easy	difficult
火傷の危険性 Danger of scald		exist	none	none
天井結露の発生 Condensation at ceiling		exist	exist	none
建物の気密・断熱性への依存度 Dependence of thermal insulation and airtight of a building		large	large	small
体感温度上昇までの所要時間 Time to suitable temperature		long	long	short
体感温度の快適性 Distribution of temperature		discomfort	discomfort	comfort
競技性 Events of sports		unlimit	limit	unlimit



第1図 暖房方式による垂直温度分布の差
Fig. 1. Vertical distribution of room temperature

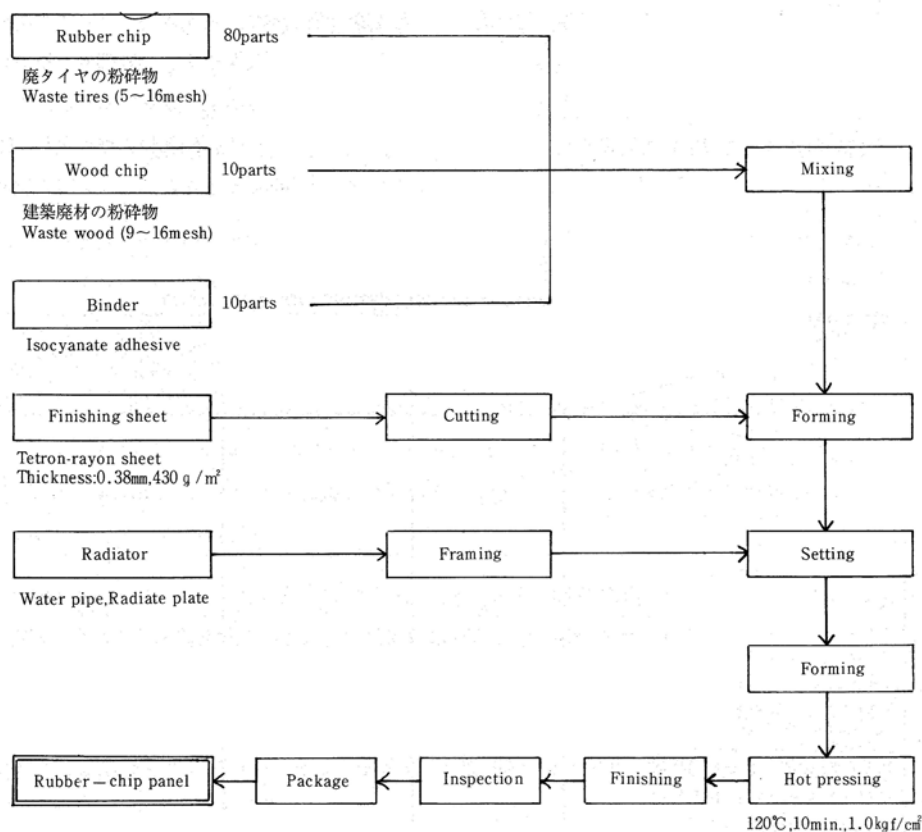
力が比較的低いことなどが特徴としてあげられる³⁾。
また、このパネルは、かさ比重や原料の混合比率によってクッション性が変化するため、体育館向け床暖房用材への適用が期待された。

なお、一般住宅向け床暖房用ゴムチップパネルの主な物性値は次のとおりである⁴⁾。

- かさ比重 : 0.79
- 熱伝導率 : 0.12kcal/m·h·°C
- 引張強さ : 11kgf/cm²
- 限界伸張率 : 40%
- 引裂強さ : 12kgf/cm²
- 50%圧縮時応力 : 45kgf/cm²

3. 実験および評価方法

体育館の床の弾力性は、JIS A 6519「体育館用鋼製床下地構成材」⁵⁾に準拠して測定することとした。



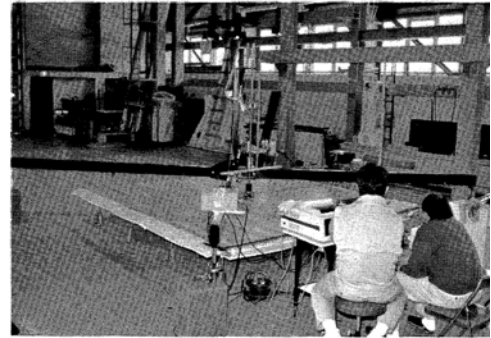
第2図 ゴムチップパネルの製造工程
Fig. 2. Schematic illustration of manufacturing process of rubber-chip panel

この規格は、昭和60年に制定された比較的新しいものであり、道内に同規格の測定装置がないため製作することとした。また、測定対象にはゴムチップパネルと単層フローリングを接着したもの、市販の体育館下地を用いて製作した実大サイズのモデルフロア、および既存の体育館床を設定した。

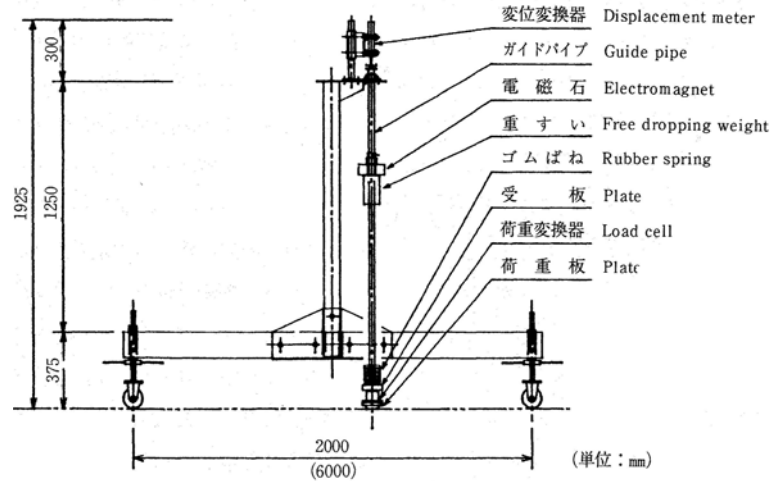
3.1 床の弾力性測定装置の製作

床の弾力性測定装置の概要を第3, 4図に示す。支持脚にはスパン2mと6mとを用意し、後述するモデルフロア、および既存体育館での弾力性測定において、それぞれの支持脚スパンの影響を比較した。

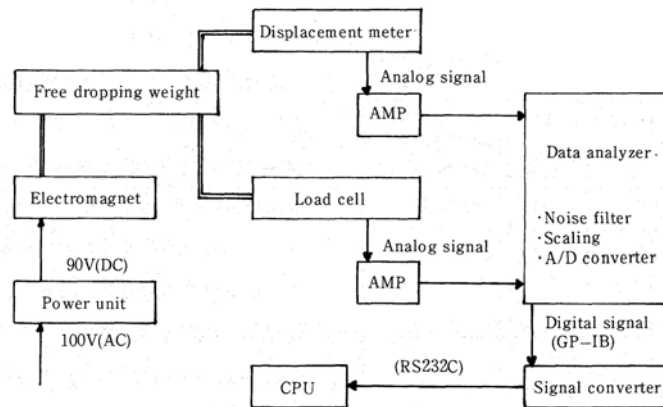
装置の細部構成、およびキャリブレーションについ



第3図 床の弾力性測定
Fig. 3. Measurement of the elasticity of floor (JIS A 6519)



第4図 床の弾力性測定装置
Fig. 4. Schematic illustration of the elasticity apparatus



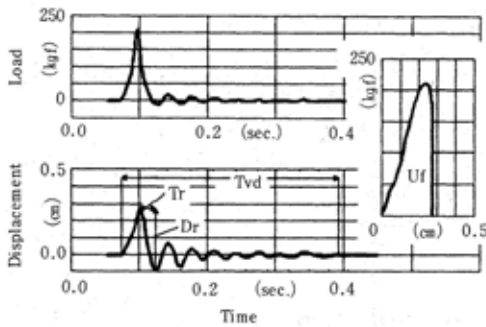
第5図 弾力性データの処理
Fig. 5. Schematic illustration of the elasticity data sampling

ては、東京工業大学工学部建築学科建築材料学講座（小野研究室）の指導を受けた^{6~11)}。

3.2 測定値の取得および評価方法

試験は質量5kgの重すいを80cm高さから自由落下させ、ゴムばねを介して床に衝突したときに発生する衝撃荷重の経時変化と、それに伴って発現する床の鉛直方向への寸法変位の経時変位を1/1000sec. 刻みにサンプリングするものである。それらデータ取得のフローを第5図に示す。

これによって得られる測定値は第6図に示す。図中上段のウィンドウは荷重変化、下段は寸法変位、右側中段の小さなウィンドウは変形開始から最大変形に至るまでの寸法変位（X軸）と荷重変化（Y軸）との関係を時系列で示している。



第6図 弾力性データ
Fig. 6. Data sheet of the elasticity

第2表 床の弾力性の JIS 規格値

Table 2. Standard value of the elasticity of gymnasium floor (JIS A 6519)

測定項目 Item	JIS 規格値 JIS A 6519	最適値(*) Most suitable value (*)
Ra: 反発作用の効果値 Effect of rebounding action	—	24.28
U: 緩衝作用の効果値 Effect of absorbing action	15-40	20-30
Y: 弾力性の評価値 Evaluation of the elasticity	Max.: 0.0~1.378 Min.: -0.2~1.378	—
Tvd: 振動減衰時間 Time of vibration decline	under 0.45	under 0.36

*東京工業大学工学部建築学科による
* Established by Department of Architecture and Building Engineering, Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology.

図中の記号の意味は以下のとおりである。

Dr : 床振動の最大振幅 (cm)

Tr : 床振動の最大振幅時における見かけの半周期 (sec.)

Uf : 床変形が最大に至るまでの床変形エネルギー (kgf·cm)

Tvd : 床振動の振幅が0.2mmまで減衰するのに要する時間 (sec.)

これらの実測値から以下の物理量ならびに評価値を算出する。

Ra : 床の反発作用の効果値 (はね返りの感覚尺度)

$$Dr \times Dr / Tr \text{ (cm}^2/\text{sec.)}$$

U : 床の緩衝作用の効果値 (硬さの感覚尺度)

$$Uf - 1.1 \times Dr \times Dr / Tr$$

Y : 床の弾力性の評価値

$$1.3782 - 0.0016(U - 17.25)^2 - 0.0028 \cdot (Ra - 24.28)^2$$

これらの値に関するJIS規格値などは第2表に示す⁵⁾。

3.3 測定対象

3.3.1 ゴムチップパネル

厚さ2水準（設定値：15, 18mm），かさ比重各3水準（設定値：0.5, 0.7, 0.9）のゴムチップパネルに体育館用単層フローリング（ナラ，厚さ18mm）を接着したものを，フローリング側を上面としてRC床上に固定した。試験片の大きさは30cm×30cm×厚さ（33, 36mm）で，弾力性はその中央部において測定した。

3.3.2 モデルフロアおよび既存体育館

市販されているJIS A 6519適合品の鋼製床下地構成材（クッションゴム付アジャスタ式支持脚，軽量形鋼製大引，同根太）と構造用合板（厚さ15mm），および体育館用単層フローリング（ナラ，厚さ18mm）を用い，ごく一般的な床構成のモデルフロアを作成した。モデルフロアの寸法は，4m（大引方向）×2m（根太方向）×0.5m（高さ）で，支持脚および大引のピッチは90cm，根太は30cmとした。測定点は，JISに規定される4点（A~D）と後述するE~Hの4点の計8点とした。

また、体育館における使用感と弾力性との関係を調査し、さらに実際に施工されている床とモデルフロアとの弾力性の違いを把握するために、モデルフロアと同様な床構造を有する体育館での測定を行った。測定点は体育館の中央付近においてJISに規定されるA～Dの4点とした。

以下に各測定点の内容を示す。

JIS規格に規定される測定点 (A～D)

- A: 支持脚(束)の中間点、大引の中間点、根太の中間点が重なり、構造体中で載荷時のたわみが最も大きくなると予想される点。
- B: 支持脚(束)上(あるいは近傍)で、大引と根太が交差し、構造体中で載荷時のたわみが最も小さくなると予想される点。
- C: A点の近傍、大引の中間で根太上の点。
- D: 大引上で支持脚(束)の中間点の近傍、根太の中間点。

JIS規格以外の測定点 (E～H)

- E: 支持脚(束)直上点。
- F: 大引上で支持脚(束)の中間点近傍、大引と根太の交差点。
- G: A点をはさんでC点と対称となる点。
- H: 大引の中間点と支持脚(束)の中間点の重なる点。

4. 結果および考察

4.1 ゴムチップパネルの弾力性

測定結果を第3表に示す。

今回はゴムチップパネル内容構成(かさ比重、厚さ

など)の設定条件が少ないが、かさ比重の増加に伴う反発作用の効果値、緩衝作用の効果値、弾力性の評価値はともに減少傾向にあり、振動減衰時間は増加傾向にある。しかし、パネル厚さの効果には明瞭な傾向は認められなかった。

これらの結果より、床暖房用材としてゴムチップパネルを用いるときは、ゴムチップパネルのかさ比重を構成する因子(フォーミング時のマット厚さ、プレス圧、原料混合比率など)を調整することによって、適度な弾力性値が得られることを確認した。

また、本測定法はパネルのかさ比重の変化を、各物理量(効果値や評価値)の変化で判断できるため、床構造体の弾力性だけでなく、クッション材料の弾力性も評価できることが分かった。

4.2 モデルフロアおよび既存体育館での弾力性

モデルフロアと既存体育館での実測値の分布を第7図に示す。図中記号は次に示すとおりである。

ML: モデルフロアを測定対象とし、支持脚スパン6mのデータ分布域。

MS: 同、スパン2mのデータ分布域。

GL: 既存体育館床を測定対象とし、支持脚スパン6mのデータ分布域。

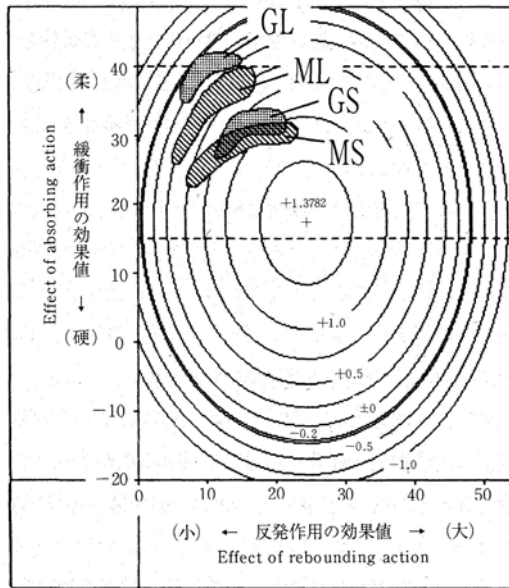
GS: 同、スパン2mのデータ分布域。

両測定対象での実測値に共通の傾向として、測定装置の支持脚スパンが2mの値は6mと比較して、反発作用は大きな側に、緩衝作用は小さな側(硬い側)にシフトすることが確認された。

また、6mスパンの支持脚を用いたときの寸法変位の振動曲線が、なめらかに振幅を減少させていくのに

第3表 ゴムチップパネルの弾力性
Table 3. The elasticity of rubber-chip panel

ゴムチップパネル Rubber-chip panel		反発作用の効果値 Ra Effect of rebounding action (cm/sec.)	緩衝作用の効果値 U Effect of absorbing action	弾力性の評価値 Y Evaluation of the elasticity	振動減衰時間 Tvd Time of vibration decline (sec.)
厚さ(mm) Thickness	かさ比重 Specific gravity				
14.10	0.51	0.752	17.373	-0.1727	0.057
15.48	0.69	0.170	10.121	-0.3313	0.065
15.79	0.85	0.132	10.192	-0.3348	0.082
16.84	0.54	1.029	19.649	-0.1450	0.061
18.32	0.69	0.307	13.285	-0.2566	0.071
18.98	0.82	0.128	9.131	-0.3611	0.076



ML : Model floor , span of stand : 6m
 MS : Model floor , span of stand : 2m
 GL : Gymnasium floor , span of stand : 6m
 GS : Gymnasium floor , span of stand : 2m

第7図 モデルフロアおよび体育館の弾力性データ分布
 Fig. 7. Distribution of the elasticity

対し、2mスパンのそれは不規則な減衰カーブを示した。

これらのデータから、支持脚の設置位置が測定値に影響をおよぼすことが確認され、実測時には6mスパンを用いるのが妥当であることが分った。

6mスパンを用いて測定した、反発作用の効果値、緩衝作用の効果値、弾力性の評価値のデータ比較は、双方の床構造が同一ではないため、絶対的な判断は行えないものと考えられる。しかし体育館床においては既に3回のサンディングが施され、フローリングが3~5mm程度薄くなっていた。よって今回得られたデータは、建設当初のものより反発作用の小さな側、緩衝作用の大きな側(柔らかい側)にシフトしており、当初のデータ分布域はモデルフロアのものに近かったものと考えられる。

またデータ分布状態についてみると、モデルフロアは体育館に比して、ばらつきが大きくなっている。これはモデルフロアが構造的な特徴(大引、根太による組床で、部分的に載荷時のたわみ量に差が生じる)を

第4表 各測定点における振動減衰時間(Tvd)
 Table 4. Time of vibration decline (Tvd)

測定対象 Floor	支持脚のスパン Span of stand	測定点 Point	Tvd (sec.)
モデルフロア Model floor	6 m	A	0.361
		B	0.276
		C	0.432
		D	0.280
モデルフロア Model floor	2 m	A	0.381
		B	0.270
		C	0.394
		D	0.276
既存体育館床 Gymnasium floor	6 m	A	0.210
		B	0.177
		C	0.189
		D	0.185
既存体育館床 Gymnasium floor	2 m	A	0.195
		B	0.216
		C	0.180
		D	0.216

より顕著にデータに反映しているものとする。体育館床のデータのばらつきが比較的小さいのは、床面積が大きい(モデルフロアの8m²に対し体育館床は1,800m²)ため、各効果値の部分的な偏りが平均化されるものとする。JIS規格は試験体の大きさを3.6×3.6m以上と規定しているが、試験体では実施工時よりもデータのばらつきが大きくなると予想される。これは規格への適否の判断では厳しい側に作用し、実施工床の規格への適合性は左右しないが、特定の弾力性値を床に付与しようとするときには考慮すべきものとする。

振動減衰時間は第4表に示す。モデルフロアでは床構成からみて、たわみ量が大きいと予想された点(A, C)で長く、同様に寸法変位の小さな点(B, D)で短くなる傾向が認められた。しかし、体育館床においてはそのような傾向は認められなかった。これはモデルフロアがその構造的な特徴を顕著に数値に反映しているのに対し、体育館床においては床面積が広いため、制振的な効果が全体に平均化されたものと考えられる。また、これらの数値からは、測定装置の支持脚の設置位置による変化は認められなかった。

5.まとめ

今回の床の弾力性測定結果から、ゴムチップパネルのかさ比重と、弾力性を示す各物理量に相関が認めら

れた。

本測定は床構造の弾力性のみでなく、材料の弾力特性を把握する上で有効なデータを取得できることが分った。

床構造物の弾力性を測定するときには、測定ポイントと測定装置の支持部との距離が3m（即ち支持脚スペンが6m）以下ではデータの信頼性が得られないことが確認された。

結論として、体育館向け床暖房用材としてゴムチップパネルを用いるには、そのかさ比重を構成している因子を検討することによって、JISの弾力性規格に適合できる床構成の開発が可能であることが分った。

謝 辞

本研究の実施にあたり、床の弾力性測定、評価全般についてご指導いただいた、東京工業大学工学部建築学科教授小野英哲氏、助教授三上貴正氏、助手高橋宏樹氏に深謝する。

文 献

- 1) 澤田哲則，大宮康則，前田典昭，大澤清志，山岸宏一，井上英彦，豊田積信，川田 勉：日本木材学会北海道支部講演集，22，36（1990）
- 2) 澤田哲則：未発表資料
- 3) 北海道立林産試験場，北海道立工業試験場，サンフロア工業株式会社：昭和63年度共同研究報告書 ゴムチップ温水床パネルの工場生産化，（1989）

- 4) 北海道立林産試験場，北海道立工業試験場，サンフロア工業株式会社：平成元年度共同研究報告書 ゴムチップ温水床パネルの工場生産化，（1990）
- 5) 日本工業標準調査会：日本工業規格（JIS A 6519）「体育館用鋼製床下地構成材」，日本規格協会（1989）
- 6) 小野英哲：日本建築学会論文報告集，181，7（1971）
- 7) 小野英哲，吉岡 丹：日本建築学会論文報告集，187，27（1971）
- 8) 小野英哲，吉岡 丹：日本建築学会論文報告集，188，1（1971）
- 9) 小野英哲，吉岡 丹：日本建築学会論文報告集，226，9（1974）
- 10) 小野英哲，吉岡 丹：日本建築学会論文報告集，227，1（1975）
- 11) 小野英哲，三上貴正，渡辺博司：日本建築学会論文報告集，321，9（1982）

- 技術部 成形科 —
- *1性能部 構造性能科—
- *2企画指導部 普及課—
- *3サンフロア工業(株)—
- *4サンポット(株)—
- *5日本木材工業(株)—
- （原稿受理 平3. 12. 19）