

林産試験場報

研究記録

- 体育館におけるフローリングの損傷発生要因の検討（第1報）
温湿度と床材の含水率および伸縮挙動 (1)
高山 光子, 近藤 佳秀
- 体育館におけるフローリングの損傷発生要因の検討（第2報）
損傷等の発生状況 (12)
高山 光子, 近藤 佳秀
- 木質バイオマス由来ガス化発電副産物の性状 (24)
本間 千晶, 西宮 耕栄, 畑 俊充

抄録

- 薬剤処理防火木材の燃焼抑制作用の経年劣化（第3報）
屋外暴露10年経過後における燃焼性状 (28)
河原崎 政行, 平舘 亮一, 平林 靖, 川合 慶拓, 菊地 伸一, 大宮 喜文

2025

552号

体育館におけるフローリングの損傷発生要因の検討 (第1報) 温湿度と床材の含水率および伸縮挙動

高山 光子, 近藤 佳秀

A study on factors causing damage to wooden flooring in a gymnasium (I)

Some of these factors were as follows: temperature and humidity in the room and under the floor, moisture content and shrinkage and expansion of wooden flooring, and the floor base plywood

Mitsuko TAKAYAMA, Yoshihide KONDO

キーワード： 下地合板, 温湿度, 含水率変化, 吸湿膨潤, 乾燥収縮

1. はじめに

体育館の床仕上げ材には、木質フローリング（以下、フローリングとする）が広く一般的に使用されているが、近年、フローリングから剥離した木片による利用者の負傷事故が相次いで発生し、問題となっている。消費者庁の消費者安全調査委員会の事故調査報告書では、木片剥離の発生要因として、フローリングの経年劣化や過度な吸放湿などによる割れや段差などの不具合の発生が挙げられ、再発防止策が提示されているが、さらに具体的な防止策を検討するためには負傷事故に関する情報の集約が必要であるとしている¹⁾。また、民間の建設会社やフローリングメーカーでは、フローリングの割れの発生防止に向けた検討²⁻⁴⁾がすすめられ、ささくれ（フローリングの繊維に沿った鋭利な割れ）を防止するフローリングも開発されている。しかし、負傷事故の発生が現在でも続いていることから⁵⁾、割れ等の発生実態の把握と発生原因の解明、効果的な防止策の早急な検討が求められている。

林産試験場ではこれまで、体育館床の調査や試験体による加湿および乾燥試験を行い、フローリングの割れの発生過程の解明に取り組んできた。その中で、フローリングの目地の開閉に、下地合板の吸放

湿に伴う膨潤収縮が関与している可能性が示唆された^{6,7)}。さらに、フローリングと下地合板（あわせて「床材」と呼ぶ）の膨潤収縮の挙動の関係を把握し割れの発生に繋がる要因を明らかにするためには、体育館内の温湿度環境や床材の含水率の推移と膨潤収縮の挙動、フローリングの割れ等の発生状況などを数シーズン継続して観測する必要があると考えた。

そこで、複数の体育館を対象に、床上、床下の温湿度と床材の含水率、膨潤収縮、及びフローリングの損傷等の発生状況を複数年にわたり観測し、損傷等の発生に繋がる要因を検討した。本報告では床上・床下の温湿度と床材の含水率および膨潤収縮について報告する。

2. 調査方法

築年数、冷暖房方式、フローリング種類等が異なる北海道内の4施設を対象に調査を実施した(第1表)。主な測定項目を第2表に示す。フローリングおよび下地合板の膨潤収縮については、施工された状態で正確に測定することが困難であることから、隣接するフローリング間、下地合板間の隙間の幅（以下、目地幅とする）を測定することで、膨潤収縮を間接的に把握することとした。第1図に各体育館における温

A study on factors causing damage to wooden flooring in a gymnasium (I)
 Some of these factors were as follows: temperature and humidity in the room and under the floor,
 moisture content and shrinkage and expansion of wooden flooring, and the floor base plywood

第1表 調査対象施設の概要

	施設A	施設B	施設C	施設D
築年数*1	4年	27年 (2019年に床補修)	33年	23年 (2017年に床補修)
床面積*2	1115m ²	1293m ²	144m ²	1845m ²
冷暖房方式	送風冷暖房 (全館) 設定時間: 8:00~21:00 設定温度: 冷房28°C 暖房17°C 送風口: 天井	パネル暖房 放熱器: 窓下と四隅	パネル暖房 体育館使用時のみ運転 放熱器: 長手壁面2面	温水式床暖房 設定時間: 6:00~11:00 15:00~18:00 設定温度: 23°C
フローリングの仕様	単層フローリング カエデ 厚さ18×幅75mm 長さ乱尺	単層フローリング ナラ 厚さ18×幅78mm 長さ乱尺	単層フローリング カバ 厚さ18×幅78mm 長さ乱尺	複合フローリング (大型積層タイプ) 表面材: カバ 6mm厚 台板: ラワン合板12mm厚 厚さ18×幅450×長さ1800mm
下地合板の仕様*3	ラワン構造用合板 厚さ12mm 幅方向千鳥張り	ラワン構造用合板 厚さ15mm 長さ方向千鳥張り	ラワン構造用合板 厚さ12mm 長さ方向千鳥張り	ラワン構造用合板 厚さ15mm 幅方向千鳥張り
床下高*4	220mm	567mm	770mm	745mm
利用状況	武道場, 裸足で使用 利用者: 41千人 (2022年度)	一般利用(個人)主体 利用者: 30千人 (2022年)	研修施設付属体育館 研修実施時のみ使用 研修施設利用者 : 0.6千人(2022年度)*5	一般利用(個人), 合宿・大会 利用者: 37千人(2022年度)

*1 2023年時点の築年数

*2 アリーナ床面の実測値から計算した床面積

*3 幅方向千鳥張り: 隣接する短辺を幅半分ずつずらす、長さ方向千鳥張り: 隣接する長辺を長さ半分ずつずらす

*4 コンクリートスラブから下地合板下面までの高さの実測値

*5 新型コロナウイルス感染症対策のため体育館は利用中止。

湿度, 含水率, 目地幅の測定位置を示す。フローリングおよび下地合板は, 長辺が図中のY方向と平行になるように施工されている。

温湿度は温湿度データロガーを床上と床下に設置し (第1図 床上◆, 床下◇), 測定間隔1時間で通年計測した。床上は床面から10cm前後の高さに, 床下は下地合板 (施設Dは断熱材) から15~25cm下にセンサーを固定した (第2図)。

フローリングの含水率は, 第1図の測定線に沿って, 高周波木材水分計 (MERLIN HM8 WS-5) を用いて測定した。体育館X方向については全フローリングを, Y方向については1m毎に測定した。フローリングの目地幅は, X方向の測定線に沿って, 全フローリングの長辺間の目地 (第3図) をデジタル顕微鏡カメラ (3R ViewTer500) で撮影し, 撮影画像から計測した。なお, 施設Dにおいては, Y方向の測定線Dで, フローリング短辺間の目地幅についても長辺と同様の手法で測定した。

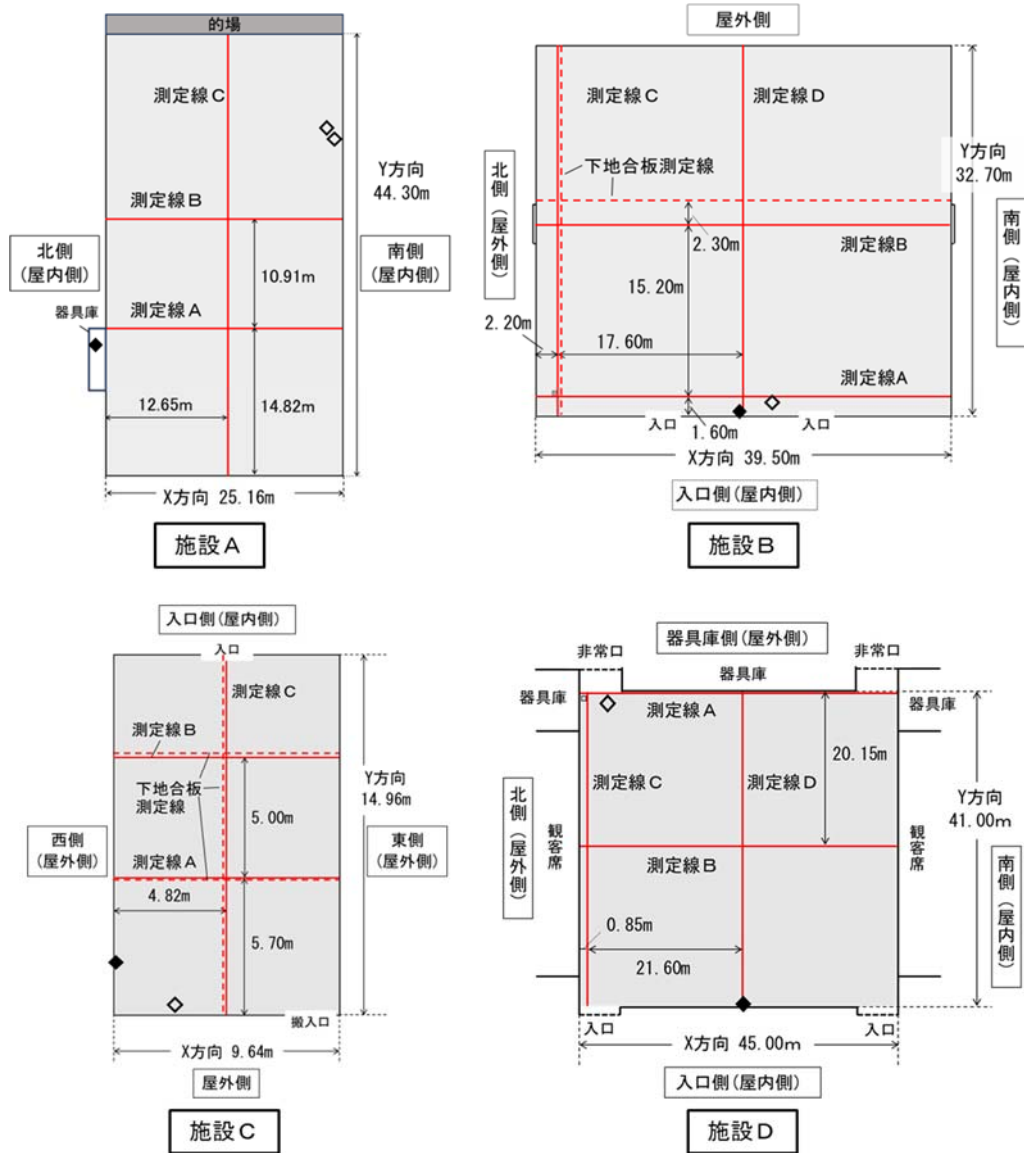
第2表 主な測定項目

	調査項目	測定方法	測定時期	
床上	温度・相対湿度	温湿度データロガー	通年計測	
	フローリング	含水率	高周波木材水分計	夏期・冬期
		目地幅	デジタル顕微鏡カメラの撮影画像から測定	夏期・冬期
		損傷等の発生状況*	目視調査、位置・寸法の測定	夏期・冬期
床下	温度・相対湿度	温湿度データロガー	通年計測	
	下地合板	含水率	高周波木材水分計	夏期・冬期
		目地幅	隙間ゲージ	夏期・冬期

* 損傷等の発生状況については次報で報告する。

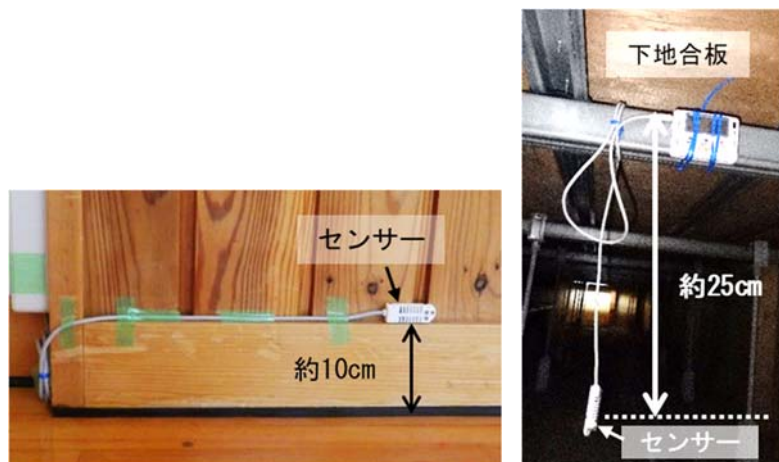
下地合板の含水率と目地幅の測定については, 床下側から下地合板の測定が可能であった施設Bと施設Cにおいて実施した。含水率については, 高周波木材水分計 (MERLIN HM9) でX方向, Y方向の測定線に沿って全合板を測定し, 目地幅については, X方向の測定線に沿って隙間ゲージで測定した。各施設の床断面の概略を第4図に示す。

体育館におけるフローリングの損傷発生要因の検討（第1報）
 温湿度と床材の含水率および伸縮挙動



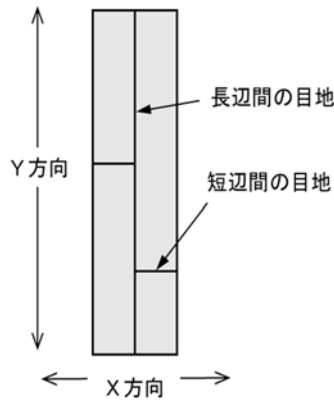
第1図 測定箇所の概略図

(— フローリング測定線, - - - 下地合板測定線, ◆ 床上温湿度計, ◇ 床下温湿度計)

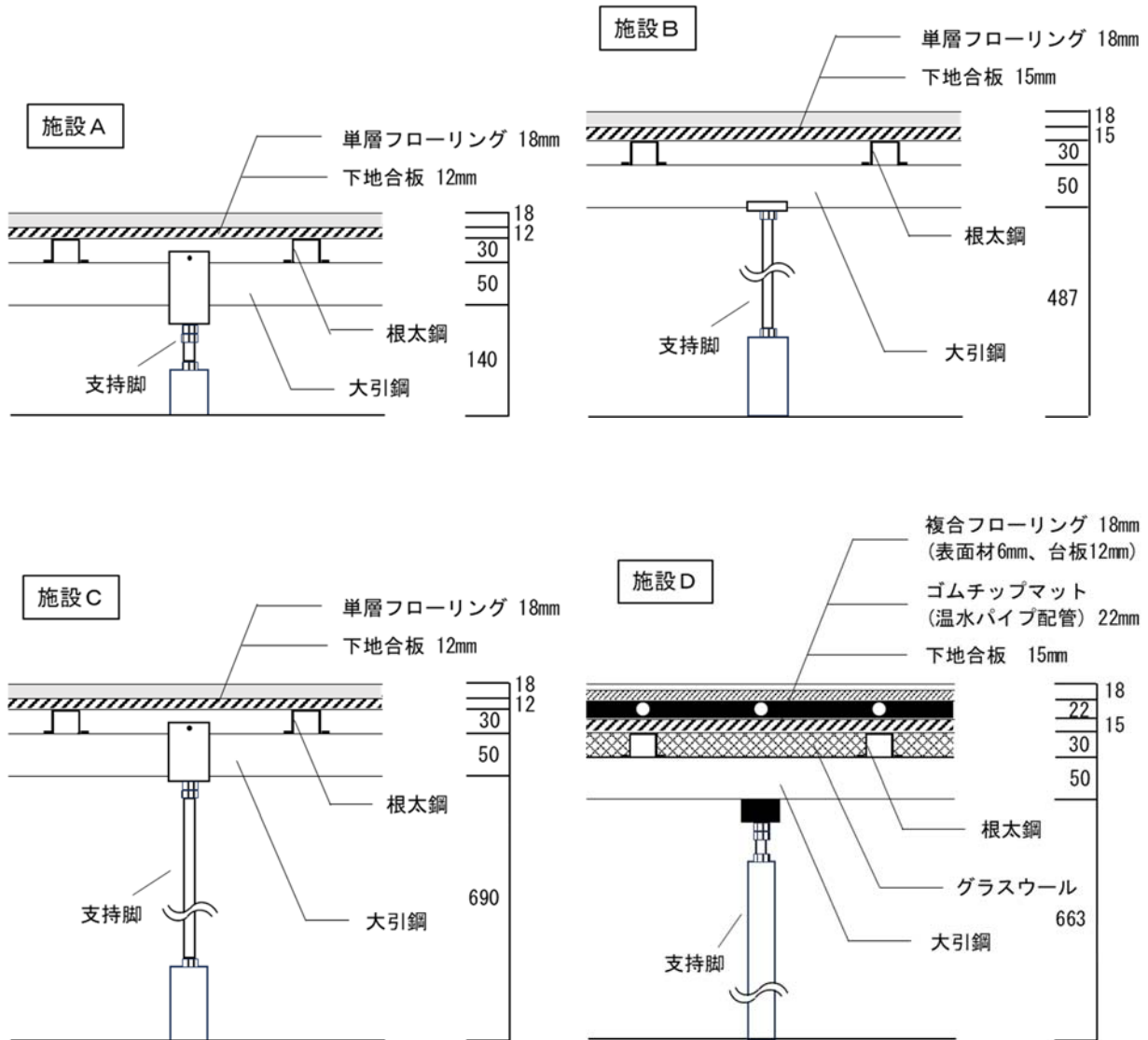


第2図 温湿度計の設置状況の事例（施設C 左：床上、右：床下）

A study on factors causing damage to wooden flooring in a gymnasium (I)
 Some of these factors were as follows: temperature and humidity in the room and under the floor,
 moisture content and shrinkage and expansion of wooden flooring, and the floor base plywood



第3図 フローリングの長辺間、短辺間の目地



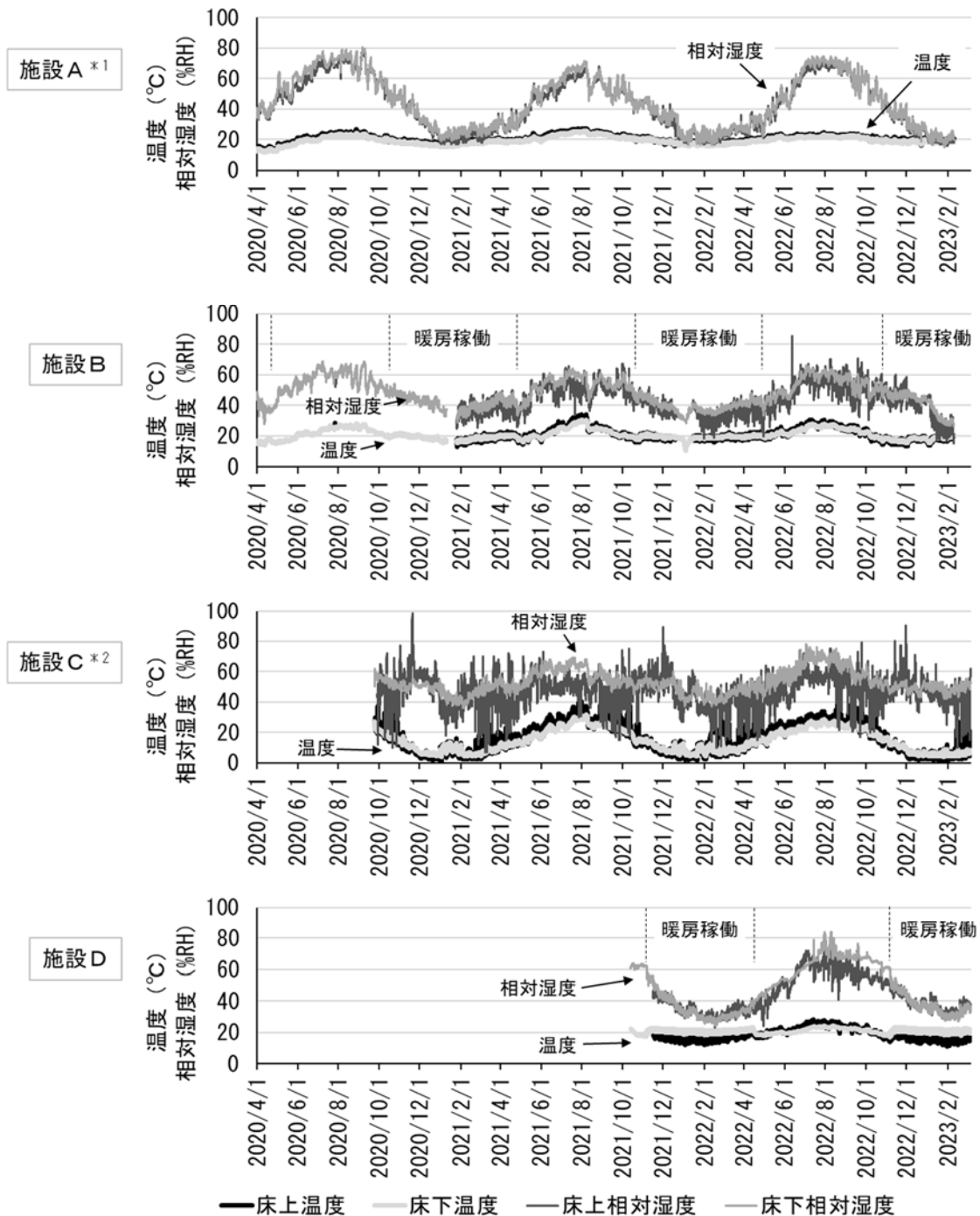
第4図 床断面の概略図

3. 調査結果と考察

3.1 体育館内の温湿度

体育館内の温湿度の測定値を第5図に、測定値の月毎の平均値を第6図に示す。また参考値として第7

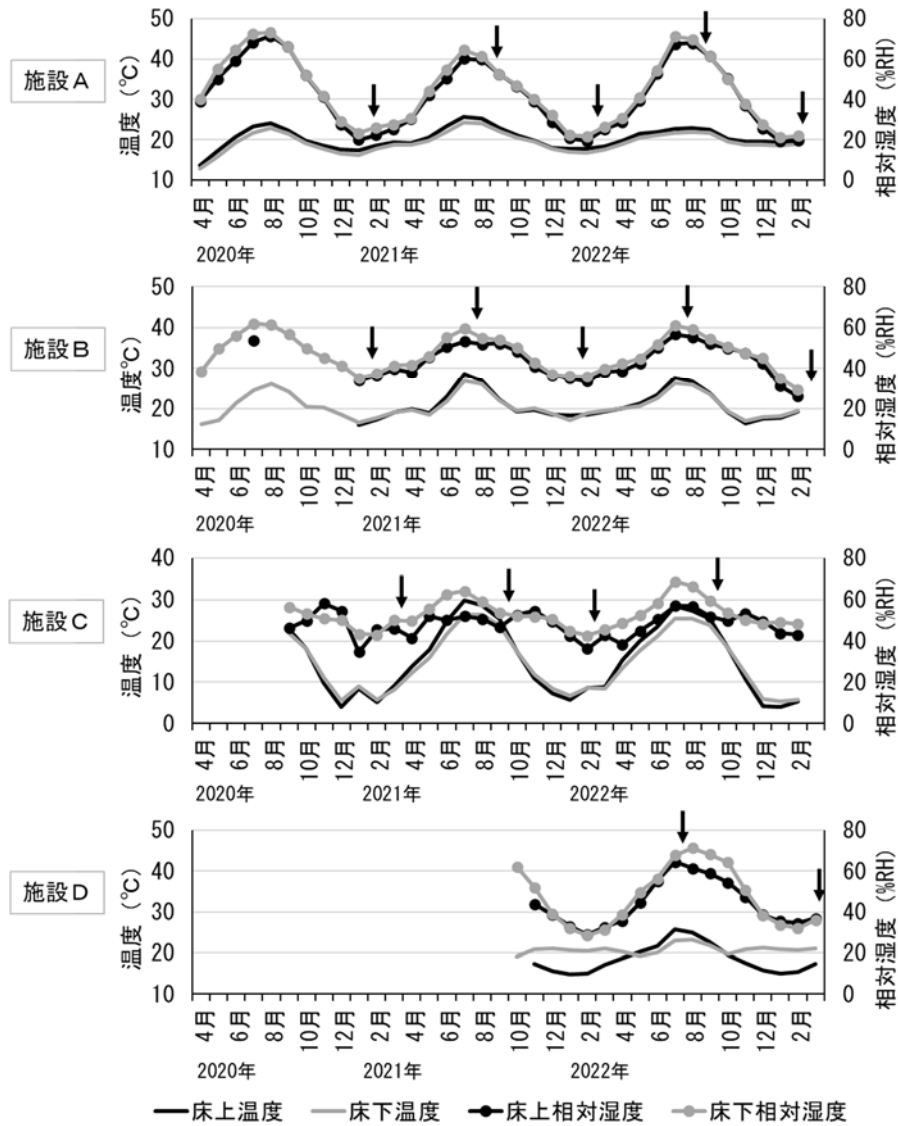
図に、施設A, Bの最寄りの観測地点の旭川とC, Dの最寄りの観測地点の岩見沢の屋外の温湿度データを、気象庁ホームページの過去の気象データ検索⁸⁾により抽出して示した。



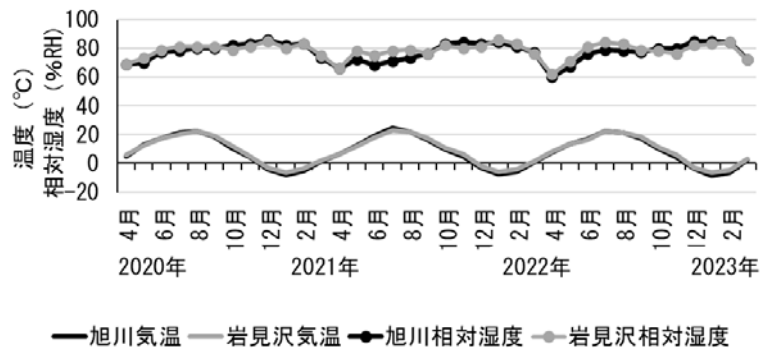
第5図 体育館内の温湿度の計測値

- *1 施設Aは17℃以下で暖房が（11月頃）、28℃以上で冷房が入る（6月頃）。
- *2 施設Cは体育館使用時のみ暖房を使用する。2022年度は体育館の使用無し。

A study on factors causing damage to wooden flooring in a gymnasium (I)
 Some of these factors were as follows: temperature and humidity in the room and under the floor,
 moisture content and shrinkage and expansion of wooden flooring, and the floor base plywood



第6図 体育館内の月平均温湿度（矢印は調査の実施日）



第7図 調査施設の最寄りの観測地点の屋外の温湿度*

*気象庁の過去の気象データ検索⁸⁾から作成。

体育館内の温湿度は屋外の温湿度とは異なり、施設ごとに異なる変動傾向を示した。これは、冷暖房や換気、利用状況、立地など諸々の条件が施設により異なるためと考えられた。

施設Aでは、送風冷暖房が設定温度になると稼働するため、温度の変化が床上、床下とも小さい一方で、相対湿度は制御されないため季節変動が大きく、特に冬季は20%RH程度まで低下した。月平均相対湿度は夏季、冬季間で床上、床下とも40~50%RH程度変化した。広い空間を天井からの温風で暖める暖房方式のため乾燥しやすいと考えられる。これに対し、パネル暖房を採用している施設Bの月平均相対湿度の季節変動幅は、床上19~31%RH、床下24~32%RHで、所在地が同じ市町村である施設Aより小さかった。パネル暖房を採用しているが所在地の異なる施設Cは、他の3施設と比較して温度の季節変動幅が大きく、変動傾向は屋外気温の変動に近かった。施設Cは人の出入りが少なく、暖房はほぼ使用されていないことなどから、他施設よりも屋外の影響を受けやすいと推測される。また、床上の相対湿度の一日の変動幅が非常に大きい期間があり、この期間には、連日同様な時刻に温度の上昇と相対湿度の低下が見られた。原因は壁面の暖房放熱器（第8図）からの放熱と考えられ、暖房を使用しない日でも暖房パネルに通湯されていた可能性がある。床暖房を採用している施設Dでは、温湿度の季節変動に床暖房の影響が見られた。床下では床暖房稼働期間中は温度がほぼ一定となるとともに、月平均温度の年間変動幅が4°Cと、床上の変動幅15°Cと比較して小さかった。相対湿度については、床暖房稼働期間中は床上、床下ともほぼ同じ値であったが、床暖房停止後から床下の相対湿度が高くなった。8~10月は床上より10%RHほど高くなっていたが、床暖房稼働後に一気

に低下した。月平均相対湿度の季節変動幅は、床上が平均33%RH、床下が平均41%RHであった。また、施設B、C、Dでは夏季に床下の相対湿度が床上より高くなり、相対湿度の季節変動が床上より大きくなる傾向があったが、施設Aでは調査期間を通して床上と床下の相対湿度はほぼ同様であった。施設Aでは夏季に冷房が稼働することや、床下高が20cm程度であるため、床下空間が狭く、床上換気口との通気により床上に近い温湿度環境になりやすいことなどが理由として考えられる。

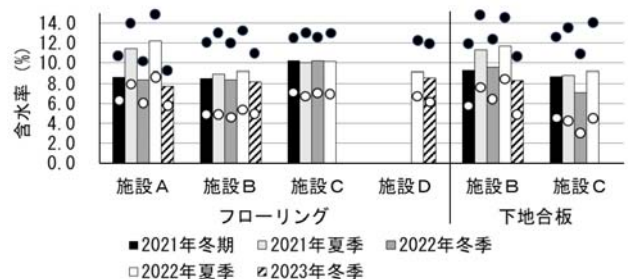
測定結果から、体育館内の床上と床下とで温湿度の変動傾向が異なることが確認された。施設の条件が異なれば、今回の測定結果以上に床上と床下との温湿度の違いが大きくなることも想定される。床下の温湿度環境は下地合板やフローリングの寸法変化に影響を与えると考えられることから、体育館内の温湿度環境を把握するためには、床下の温湿度についても定期的に確認する必要があることがわかった。なお、調査の実施期間中は新型コロナウイルス（COV-19）感染症対策のため、施設A、B、Dでは、一日に数回窓や扉を開放するなどして通常より積極的に換気されていた。

3.2 フローリングと下地合板の含水率変化

フローリングと下地合板の含水率の測定結果を第9図に示す。フローリングの平均含水率は、各施設の床上相対湿度の季節変動に応じて変化する傾向が見られた。相対湿度の季節変動幅が大きい施設Aでは、夏季、冬季間でフローリングの平均含水率は3~5%変化し、冬季の含水率は8%前後まで低下した。床上相対湿度の季節変動幅が比較的小さい施設B、Dでは、含水率の季節変化は1%弱と小さかった。施設Cでは含水率の変化はほとんど見られなかった。施設Cでは床上相対湿度の年間変動において夏季と冬



第8図 施設Cの壁面の暖房放熱器（白色のパネル）



第9図 フローリングと下地合板の平均含水率 (●最大値, ○最小値)

季の明確な違いが見られなかったことに加え、測定実施日が床上相対湿度の最低、最高月から外れていたことが原因と考えられる(第4図)。また、面積の広い体育館床では、暖房器具の放熱による乾燥や出入り口付近での外気の影響などにより、床の特定の箇所でフローリングの含水率の低下や上昇がおきていることが考えられる。部分的な乾燥収縮や吸湿膨潤は割れ等の損傷に繋がる可能性が考えられることから、体育館内の位置によるフローリングの含水率の差異を確認した結果、施設B, Dにおいては、入口側と中央、屋内側と屋外側などでやや差異が見られたものの、4施設とも位置による大きな偏りは見られなかった。パネル暖房の放熱により、床上相対湿度の一日の変動幅が大きくなっていると考えられた施設Cにおいても、パネル暖房の放熱器の付近とそれ以外とで含水率に特に違いは見られなかった。

一方、下地合板の平均含水率は床下の相対湿度の季節変動に応じて変化する傾向が見られ、夏季と冬季の間の含水率変化がフローリングより大きかった。これは、未塗装の下地合板は塗装されたフローリングより吸放湿しやすく湿度変化の影響を受けやすいことに加え、施設B, Cの床下相対湿度の季節変動が床上よりやや大きかったことが原因と考えられる。なお、施設Cでは測定線Bの辺りで下地合板の含水率が低い箇所があったことから(第10図)、床下の相対湿度については、床上とは異なり場所による偏りがある可能性が示唆された。

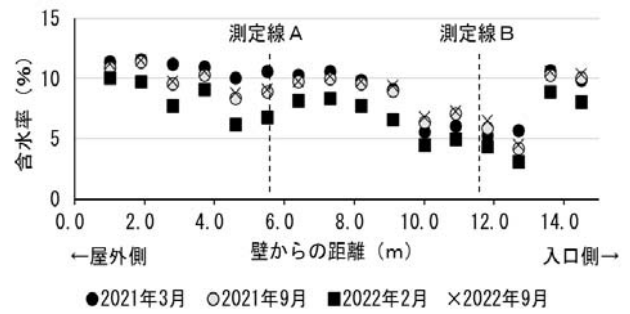
3.3 フローリングと下地合板の伸縮挙動

3.3.1 フローリングと下地合板の長辺間の目地

フローリングと下地合板の長辺間の目地幅の平均値(以下、平均目地幅とする)を第11図に示す。

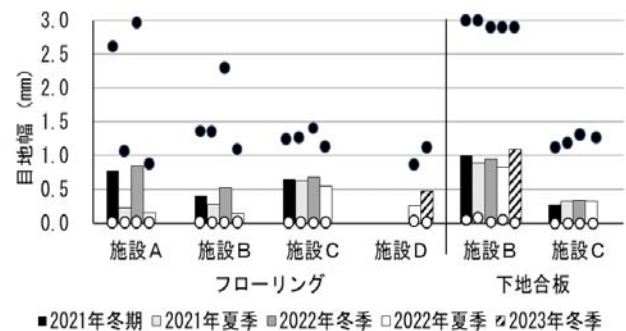
フローリングの長辺間の平均目地幅は平均含水率の季節変化に応じて変化する傾向が見られた。含水率の季節変化が大きい施設Aでは、平均目地幅の変化も大きく、夏季、冬季間で平均0.6mm、最大2.6mm変化した。冬季の平均目地幅は最大3.0mm程度になったが、夏季には境界が判別できないほど密着する目地が多く見られた。含水率変化の小さい施設Cでは、平均目地幅の変化も小さく、その季節変化は平均0.08mmであった。

一方、下地合板については、含水率の季節変化がフローリングよりも大きかったにもかかわらず、平均目地幅の季節変化はフローリングよりも小さかつ



第10図 施設Cの測定線Cにおける下地合板の含水率分布

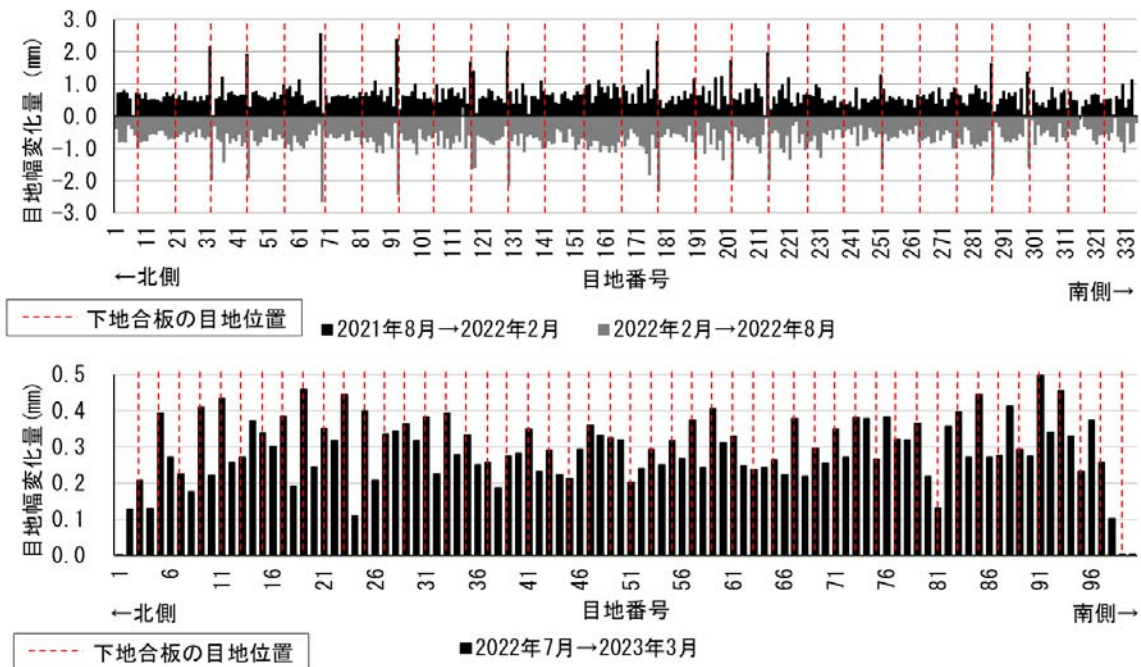
- *1 測定線A：平均含水率8～10%
- *2 測定線B：平均含水率7～9%



第11図 フローリングと下地合板の長辺間の平均目地幅(●最大値, ○最小値)

た。これは、下地合板(ラワン合板)の収縮率が、単層フローリングに使用されている木材の収縮率より小さい⁹⁾ことによると推察される。測定結果から、施工されている状態でも下地合板とフローリングとは異なる伸縮挙動をしていることが確認できた。

第12図に施設A(単層フローリング)と施設D(複合フローリング)における、フローリングの目地ごとの夏季、冬季間の目地幅の変化量を示す。図中の点線はフローリングを留めつけている下地合板の目地の位置を示している。どちらの施設でも、下地合板の目地近傍のフローリングの目地で目地幅の変化量が大きくなる傾向が見られる。施設A, B, Dの冬季の床面では、下地合板の目地位置と推測される間隔でフローリングの目地が大きく開いている箇所が散見された(第13図)。次に、第14図に施設Bにおけるフローリングと下地合板の目地幅の変化量の関係を示す。図中の変化量はフローリング、下地合板とも目地幅の増加量及び減少量の絶対値の測定期



第12図 フローリングの目地幅変化量
 (上：施設A（単層フローリング）測定線B，下：施設D（複合フローリング）測定線B)

間を通した平均値で、棒グラフの棒の位置関係はフローリングと下地合板の目地の位置関係と同じである。下地合板の目地（黒棒）近傍のフローリングの目地で目地幅の変化量が大きくなる傾向が見られるが、フローリングの目地幅の変化量が大きい箇所でも必ずしも下地合板の目地幅の変化量が大きいとは限らなかった。これらの測定結果から、下地合板の膨潤収縮に伴う目地近傍の挙動がフローリングの目地の開閉を大きくすることが確認できたが、下地合板の挙動がどのようにフローリング目地の挙動に作用するかを明らかにするには、より詳細な調査が必要である。なお、施設Aではフローリングの目地幅の変化量が大きな目地で、フローリング間に段差の発生が多く見られた。

3.3.2 フローリング短辺間の目地

第15図に施設Dのフローリング短辺間の目地幅の測定結果を示す。短辺間の目地幅は長辺間に比べて非常に狭く、夏季の目地幅は平均0.02mmで、一部を除きほぼ密着した状態であった。冬季は平均0.12mm、最大0.3mmであったが、冬季でも密着している目地が多く見られた。他の単層フローリングの施設においても、短辺の接合部の多くが冬季でも密着し、圧縮変形を伴う箇所も見られた。なお、夏季にはいずれの施設においても、密着しているだけで



第13図 下地合板の目地位置で発生する目地の隙間の一例
 (施設A：下地合板は隣接する短辺を450mmずつずらして施工されている)

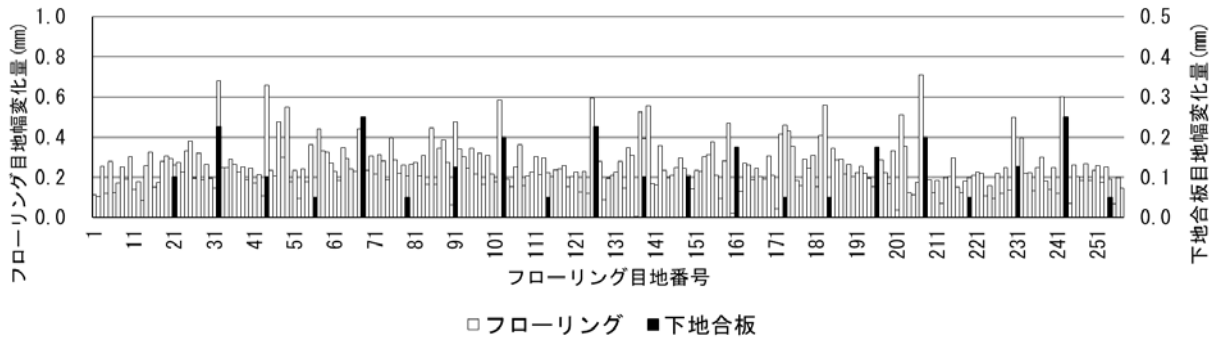
なく、さらに接合部が圧迫されて大きく変形しているフローリングが散見された。

4. まとめ

各施設の測定結果を第3表にまとめる。数値は調査期間を通した平均値で、括弧内は最小値と最大値である。

北海道内の体育館4施設を対象に体育館内の温湿度と床材の含水率および目地幅を測定し季節変動を

A study on factors causing damage to wooden flooring in a gymnasium (I)
 Some of these factors were as follows: temperature and humidity in the room and under the floor,
 moisture content and shrinkage and expansion of wooden flooring, and the floor base plywood



第14図 フローリングと下地合板の目地幅変化量の比較（施設B）

把握した。その結果、体育館内の温湿度は冷暖房等の各施設固有の条件によって施設ごとに異なる変動傾向を示すとともに、床上と床下とでも異なること、各施設の床上と床下の温湿度の変動に応じてフローリングと下地合板が各々膨潤収縮することが確認された。また、フローリングと下地合板とは異なる伸縮挙動をしていることも確認された。現状では室温の管理はされているが相対湿度を把握している施設は少なく、さらに、床下の状況の確認はほとんどされていない。このため、体育館床の維持管理においては床上、床下双方の温湿度を管理することが重要であると考えられる。

次に、フローリングと下地合板の目地の関係について、フローリングの目地の開閉に下地合板の目地近傍の挙動が関与することが確認できた。しかし、下地合板とフローリング目地の挙動の関係を明らかにするためには、より詳細な調査が必要である。

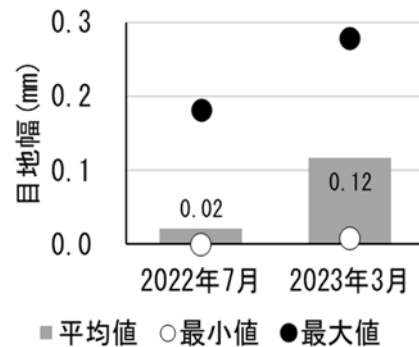
次報では本報を踏まえ、フローリングの損傷等の発生状況について報告する。

謝辞

調査の実施にあたり、調査対象施設の管理者の方々に多くのご協力をいただいた。また、元林産試験場職員の澤田哲則氏には調査の実施および取りまとめに多くのご協力とご助言をいただいた。厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 消費者安全調査委員会：事故等原因調査報告書 体育館の床板の剝離による負傷事故（2017）
- 2) 佐々木晴夫，久保田浩，加賀洋行，坂井勝也，櫻田将至：各種塗装仕様によるフローリング表



第15図 フローリングの短辺間の目地幅（施設D）

面のひび割れリスク評価 その1 試験概要，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），1317-1318（2018）

- 3) 久保田浩，佐々木晴夫，加賀洋行，坂井勝也，櫻田将至：各種塗装仕様によるフローリング表面のひび割れリスク評価 その2 試験結果，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），1319-1320（2018）
- 4) 和田環，権藤 尚，澤田瑞恵，佐々木正治：加湿・乾燥環境下での複合フローリングの伸縮挙動の基礎的検討，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），681-682（2022）
- 5) 福岡県春日市：<https://www.city.Kasuga.Fukuoka.jp/shisei/info/press/1008826/1008842.html>，2024年11月12日参照
- 6) 高山光子，澤田哲則，近藤佳秀，平林靖，伊佐治信一，北橋善範，戸田正彦，浦弘達，小野昭則：運動施設床における木質フローリングの表面劣化・損傷の発生実態，第69回日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM），G15-P-04（2019）

第3表 測定結果のまとめ

		施設 A	施設 B	施設 C	施設 D	
床 上	月平均温度（℃）	最高月 ^{*1}	24.2 (22.8~25.7)	28.1 (27.6~28.6)	29.2 (28.5~29.8)	25.7 (測定年1年)
		最低月 ^{*1}	18.2 (17.4~19.4)	16.3 (16.0~16.7)	4.5 (4.1~5.1)	14.9 (14.8~15.0)
		夏季・冬季間変動幅 ^{*2}	6.2 (3.5~8.3)	10.9 (9.3~12.6)	24.2 (22.8~25.7)	10.8 (10.7~10.8)
	月平均相対湿度（%RH）	最高月 ^{*1}	66.4 (60.1~71.3)	55.0 (53.2~56.8)	56.6 (54.6~58.2)	64.4 (測定年1年)
		最低月 ^{*1}	19.5 (19.1~20.0)	31.1 (26.1~33.8)	38.1 (34.8~43.0)	31.6 (28.8~34.4)
		夏季・冬季間変動幅 ^{*2}	44.5 (40.1~48.8)	23.3 (19.4~30.7)	17.9 (15.7~20.7)	32.8 (29.9~35.6)
床 下	月平均温度（℃）	最高月 ^{*1}	23.0 (21.9~24.3)	26.4 (26.0~26.9)	26.0 (25.5~26.4)	23.2 (測定年1年)
		最低月 ^{*1}	17.3 (16.2~18.6)	17.2 (16.5~18.1)	5.7 (5.4~6.0)	19.2 (19.1~19.3)
		夏季・冬季間変動幅 ^{*2}	6.0 (3.3~8.1)	9.6 (9.1~10.4)	19.7 (18.7~20.8)	3.7 (3.4~4.0)
	月平均相対湿度（%RH）	最高月 ^{*1}	69.7 (64.6~73.3)	60.9 (59.6~62.0)	66.5 (64.2~68.8)	71.4 (測定年1年)
		最低月 ^{*1}	22.0 (21.1~23.2)	33.5 (29.3~36.0)	44.7 (42.6~48.3)	30.2 (28.4~32.0)
		夏季・冬季間変動幅 ^{*2}	45.9 (41.4~50.0)	26.2 (23.5~31.8)	23.0 (21.1~26.3)	41.2 (39.4~43.0)
フ ロ ー リ ン グ	含水率（%）	夏季 ^{*3}	11.8(11.4~12.2)	9.1(8.9~9.2)	10.1 (10.0~10.2)	9.1 (調査回数1回)
		冬季 ^{*3}	8.2(7.7~8.7)	8.3(8.2~8.5)	10.2 (10.2~10.2)	8.6 (調査回数1回)
	長辺目地幅（mm）	夏季 ^{*3}	0.19 (0.16~0.23)	0.22 (0.15~0.28)	0.58 (0.54~0.62)	0.26 (調査回数1回)
		冬季 ^{*3}	0.81 (0.77~0.85)	0.47 (0.41~0.53)	0.67 (0.65~0.68)	0.48 (調査回数1回)
下 地 合 板	含水率（%）	夏季 ^{*3}	/	11.5 (11.3~11.7)	9.0 (8.8~9.2)	/
		冬季 ^{*3}	/	9.1 (8.3~9.6)	7.9 (7.1~8.7)	/
	長辺目地幅（mm）	夏季 ^{*3}	/	0.86 (0.83~0.89)	0.32 (0.32~0.32)	/
		冬季 ^{*3}	/	1.01 (0.95~1.09)	0.31 (0.28~0.34)	/

*1 最高月、最低月：1~12月までの1年間のうち、最も高い月、最も低い月の値。年により月は異なる。

*2 夏季・冬季間変動幅：夏季の最高月と冬季（年をまたぐ場合もある）の最低月との差

*3 夏季：夏季調査の調査日ごとの全測定値の平均値、冬季：冬期調査の調査日ごとの全測定値の平均値

7) 高山光子, 近藤佳秀, 澤田哲則：実大床モデルにおける床下の加湿・乾燥に伴う床構成材の挙動, 第70回日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM), G17-P2-03 (2020)

8) 気象庁：<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2024年6月3日参照

9) 中寫厚：フローリングの伸縮を抑えるために一寸法安定性向上のための取り組みー, 林産試だより, 1997年10月号, 2-5 (1997)

ー技術部 製品開発グループー
 (原稿受理：24.11.20)

体育館におけるフローリングの損傷発生要因の検討 (第2報) 損傷等の発生状況

高山 光子, 近藤 佳秀

A study on factors causing damage to wooden flooring in a gymnasium (II)

The occurrence of the damage

Mitsuko TAKAYAMA, Yoshihide KONDO

キーワード: 割れ, 下地合板, 吸湿膨潤, 乾燥収縮, 段差

1. はじめに

体育館床のフローリングの割れに起因する運動中の負傷事故の発生が全国的に問題となっていることから、林産試験場では、フローリングの割れ等の損傷や不具合（以下、損傷等という）の発生原因の解明に取り組んできた。その中で、フローリングの目地の開閉に下地合板の吸放湿に伴う膨潤・収縮が関与している可能性が示唆された^{1,2)}。そこで、フローリングと下地合板（以下、両方を指す場合は床材という）の膨潤・収縮による挙動を把握し、フローリングの損傷等の発生に繋がる要因を見いだすため、既存体育館を対象に、床上・床下の温湿度変動と床材の含水率変化および膨潤・収縮の挙動、フローリングの損傷等の発生状況を複数年（施設により異なる）に渡り計測し、損傷等の発生に繋がる要因を検討した。その結果、体育館内の温湿度は冷暖房や換気、利用状況など各施設固有の条件によって施設ごとに異なる変動傾向を示すとともに、床上と床下とも異なること、床上、床下各々の温湿度の変動に応じてフローリングと下地合板が膨潤・収縮すること、フローリングの目地の開閉に下地合板の膨潤・収縮に伴う目地近傍の挙動が関与することなどを確認し、前報³⁾で報告した。

本報告ではフローリングの損傷等の発生状況について報告する。

2. 調査方法

調査対象施設は前報と同じ北海道内の体育館4施設である（第1表 詳細は前報参照）。調査時間の制約や体育館の利用状況との関係で、施設Bは床の半面を、施設Dは1/4面を対象に調査した。フローリングの損傷等の発生状況を目視で調査し、損傷の種類、寸法および発生位置を記録し、デジタルカメラで写真を撮影した。損傷等の分類は、これまでの調査¹⁾から第2表の5種類とした。発生箇所については、体育館のX方向（フローリングの短辺に平行な方向）、Y方向（フローリングの長辺に平行な方向）の基準となる直線（基準線）を床面上に設定し、X方向については基準線からのフローリング枚数を、Y方向については基準線からの距離を巻尺で測定して発生位置の座標とし、床平面図上に記録した。

3. 調査結果と考察

3.1 フローリングに観察された主な損傷等

今回の調査期間中に明確に発生したと見なせる損傷は特定できなかった。

第1図、第2図に損傷等の種類別の発生数と発生割合の結果（2022年冬季調査 以下、特に記述がない場合は同様）を示す。調査面積が施設により異なるため、発生数は100m²辺りの個数に換算した。損傷等の発生数は、施設C, B, D, Aの順に多く、築後

第1表 調査対象施設

	施設A	施設B	施設C	施設D
築年数* ¹	4年	27年(床補修後4年)	33年	23年(床補修後6年)
床面積* ²	1115m ²	1293m ² (調査面積 648m ²)	144m ²	1845m ² (調査面積 452m ²)
冷暖房方式	送風冷暖房	パネル暖房	パネル暖房	温水式床暖房
フローリングの仕様	単層フローリング (フローリングボード) カエデ 厚さ18×幅75mm	単層フローリング (フローリングボード) ナラ 厚さ18×幅78mm	単層フローリング (フローリングボード) カバ 厚さ18×幅78mm	複合フローリング (大型積層タイプ) 表面材:ナラ 6mm厚 台板:ラワン合板12mm厚 厚さ18×幅450×長さ1800mm
フローリングの施工* ³	普通張り (ノリ釘併用工法)	特殊張り(ビス留め工法)	特殊張り(ビス留め工法)	特殊張り(ビス留め工法)
下地合板の仕様* ⁴	ラワン構造用合板 厚さ12mm 幅方向千鳥張り	ラワン構造用合板 厚さ15mm 長さ方向千鳥張り	ラワン構造用合板 厚さ12mm 長さ方向千鳥張り	ラワン構造用合板 厚さ15mm 幅方向千鳥張り

*1 2023年時点の築年数

*2 アリーナ床面の実測値から計算した床面積

*3 普通張り: 下地合板に接着剤で接着し、雄実のつけねに隠し釘を打ち留めつける。

特殊張り: 下地合板に接着し、隠し釘で留め、フローリング上面に開けたダボ穴から根太までビス留めし、ダボ埋めする。

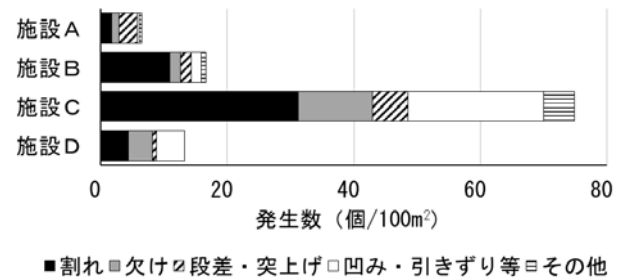
*4 幅方向千鳥張り:隣接する短辺を幅半分ずつずらす、長さ方向千鳥張り:隣接する長辺を長さ半分ずつずらす。

第2表 主な損傷等の種類

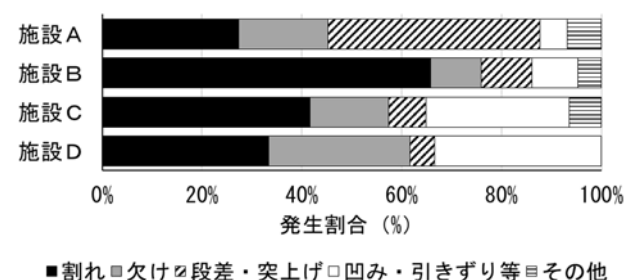
割れ	フローリング表面の木部の割れ。
欠け	木部の欠損。複合フローリングの場合は表面材の剥離も含む。
段差・突上げ	[段差]: 隣接するフローリング端部間の高低差。 [突上げ]: 隣接するフローリング間の圧縮により、隣接する両端部がともに押し上げられたもの。
凹み	物体の落下や引きずりにより生じた、周囲に比べ高さが低くなった損傷。
その他	上記以外。

年数の長いものほど多い傾向が見られた。特に、施設Cは体育施設で通常行う定期点検や再塗装、張り替えなどの大きな補修を行っていないことにより発生数が多くなっていると考えられる。損傷の種類別の発生数割合は施設により異なっていたが、割れと欠けはどの施設でも発生し、その合算割合は、施設Aでは45%、施設B, C, Dでは50%以上であった。

特に、施設Bでは損傷等の6割以上が割れであった。一方、施設Aでは段差の発生が目立った。また、施設C, Dでは凹みや引きずり等の体育器具等の移動や設置にともなうと推測される損傷が比較的多く発生していた。塗装の下の木部まで深く破損しているものや端部が割れかけているものも見られ(第3図)、このような取り扱い上の誤りによる損傷も割れのき



第1図 床面積100m²あたりの損傷等の発生数

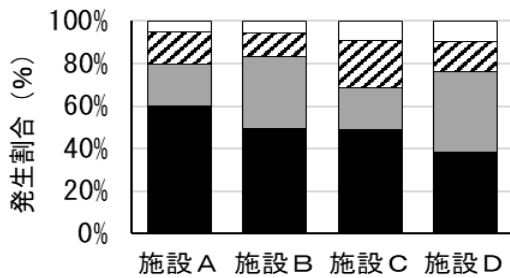


第2図 損傷等の種類別発生数割合

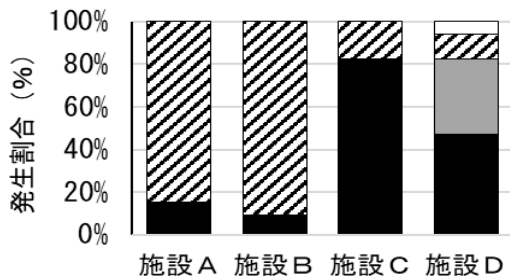
っかけとなると考えられた。施設Cは運動目的で常時使用していないため、利用者が器具の移動や設置に不慣れなことやこまめに補修がなされていないこと、施設Dでは移動式バスケットゴールの設置箇所周辺に多く発生していたことから、バスケットゴールの移動、設置にともなうものが多いことが要因として考えられた。



第3図 端部が割れた落下痕（施設C）



■長辺端部 ■短辺端部 ▨角 □その他



■長辺端部 ■短辺端部 ▨角 □その他

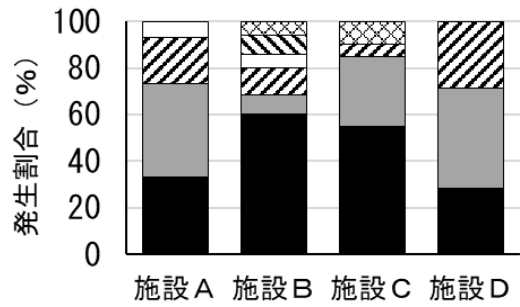
第4図 割れ（上）と欠け（下）の発生部位の割合

3.2 割れと欠けの発生状況

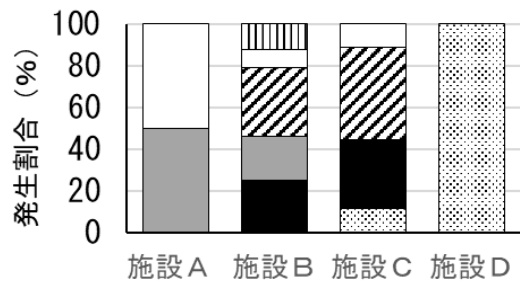
フローリングの割れと欠けの発生部位別の割合を第4図に、割れの長さ別の割合を第5図に示す。

3.2.1 単層フローリングの施設（A, B, C）

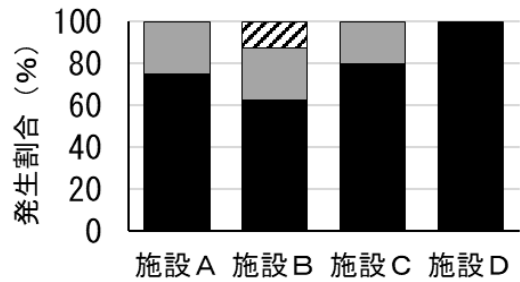
単層フローリングが使用されている施設では、フローリングの割れの9割以上が、フローリングの長辺、短辺端部の隣接するフローリングと接する部分（以下、接合部という）と角部で発生していた。また、長辺の接合部で発生したものも含め、割れと欠けの8～9割が短辺接合部の前後10cm以内の範囲で発生していた。



■3cm未満 ■3cm以上 ▨5cm以上
□10cm以上 ▨15cm以上 ▨20cm以上
▨50cm以上



▨1cm未満 ■1cm以上 ■3cm以上
▨5cm以上 □10cm以上 ▨15cm以上

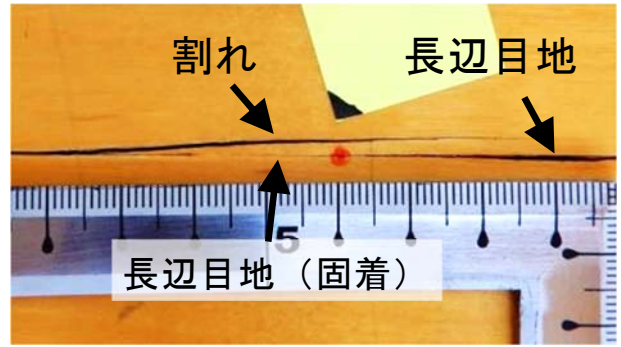
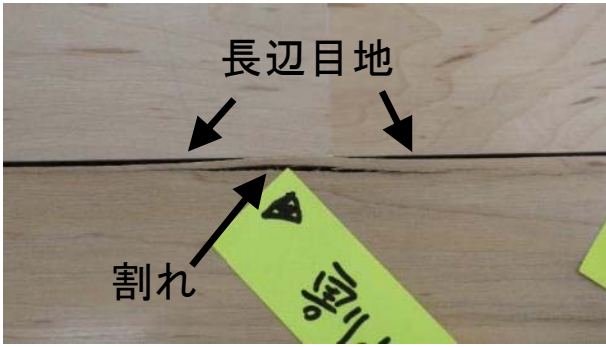


■3cm未満 ■3cm以上
▨5cm以上 □10cm以上

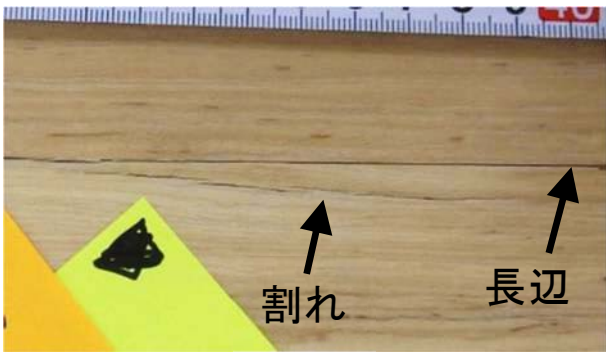
第5図 割れの長さ別の発生割合（上：長辺接合部、中：短辺接合部、下：角部）

3.2.1.1 長辺接合部の割れ

長辺接合部の割れの多くは、フローリングの塗装の際に塗料が目地に入り、接着剤のように接合部間を固着したため、冬季にフローリングが乾燥収縮した際に、目地が開かず木部に負担がかかり割れたと推察される割れで（第6図、以下「目地の固着による割れ」という）、長さ5cm未満のものが7～8割を占めた。また、施設Aではフローリングが夏季に吸湿膨潤して接合部を相互に圧縮し破壊に至ったと推察される割れも見られ、これらの中には繊維を横切る割



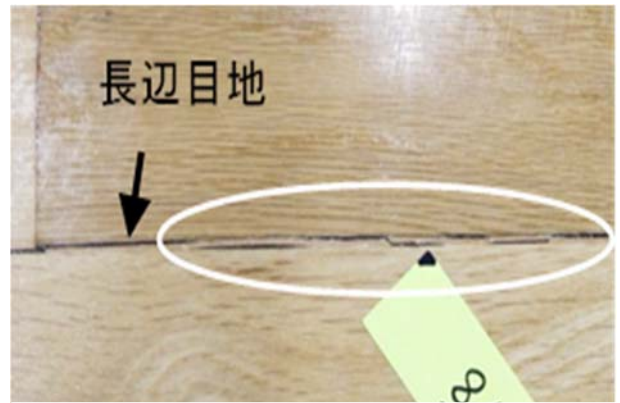
第6図 長辺目地の固着による割れ（左：施設A 2022年2月，右：施設C 2021年9月）



第7図 接合部の圧縮による割れ 左：繊維に沿った割れ（施設A 2021年2月），右：繊維を横切る割れ（施設A 2021年8月）

れも見られた（第7図）。施設Aは他の2施設よりフローリング含水率の季節変化が大きく（3～5%）、夏季の含水率が高い（平均12%）ことから³⁾、吸湿膨潤にともなうフローリング間の圧縮圧力が他の施設より大きい可能性が考えられた。また、施設Aでは他の施設に比べ目地の固着箇所が少なく、目地幅が広い目地や目地幅の季節変化量大きい目地でも割れが発生するとは限らなかった。これは、厚い塗膜ができないタイプの塗料が使用されていることが一因と考えられた。これに対し、施設Bでは、目地の固着による割れが長辺接合部の割れの8割以上を占め、長辺接合部から繊維に沿って斜めに割れるささくれ状の割れ（以下、ささくれ）が同4割あった。この他、長辺目地に沿って断続的に続く10cm～数10cmに渡る割れも観察された（第8図）。施設Cで観察された長辺接合部の主な割れは、目地の固着による割れと、欠けが複合的に発生している割れで、ささくれが3割を占めた。また、暖房放熱器に比較的近い位置で長さ50cm以上の目地に沿った断続的な割れがいくつか観察された。

なお、施設Aでは、割れが集中して発生する箇所

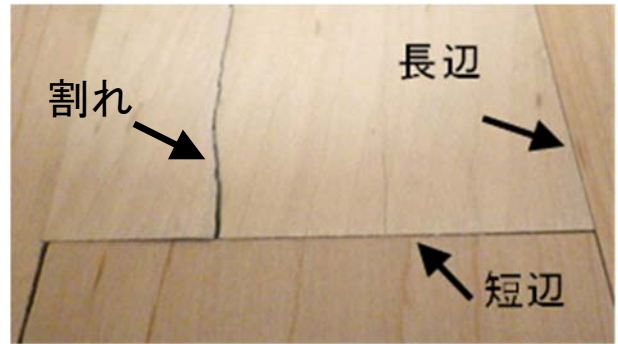


第8図 目地に沿った断続割れ（施設B 2022年1月）

や鋭利なササクレは、下地合板の長辺目地近傍のフローリングで発生する傾向があった。

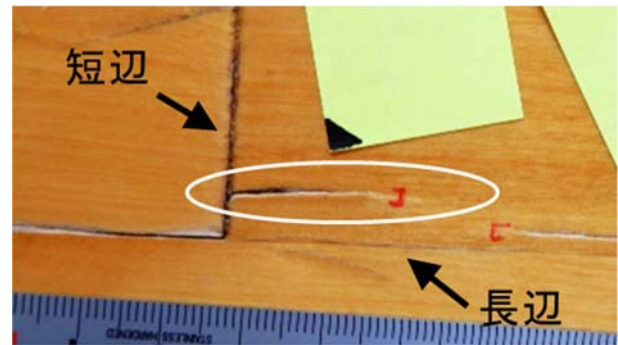
3.2.1.2 短辺接合部の割れ

短辺接合部で観察された割れは、ほぼ全てが短辺接合部から内側へ向かう繊維に沿った割れで（第9図）、施設Bでは15～20cmの比較的長い割れも見られた。短辺接合部ではどの施設においても、乾燥収縮期である冬季でも隣接するフローリング同士が密着し、圧縮変形を伴う箇所も見られたことから³⁾、夏季にフローリングが吸湿膨潤しさらに接合部が圧



第9図 短辺接合部の割れ（左：施設B 2022年1月，右：施設A 2022年8月）

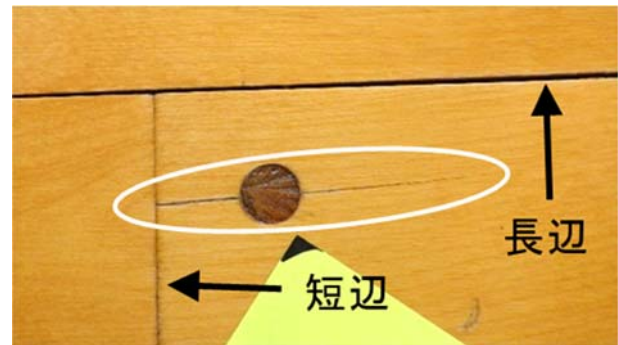
縮されることにより，強度低下や破壊をおこした可能性が考えられる。このような部分が弱点となり，冬季に乾燥収縮した際に割れに至ったと推察される。施設Cでは短辺，長辺双方の接合部が圧縮され割れ目が段差になっているものや，表面の木片がめくれかけているものも観察された（第10図）。また，フローリングを表面から根太までビス留めしてダボを埋め込む特殊張り施工の施設B，Cでは，短辺接合部の割れの約3割がダボをまたぐ割れであった（第11図）。このことから，ビス留めやダボ打ちの衝撃やビス留め位置でのフローリングの膨潤・収縮の抑制（第12図）が割れの発生に関与する可能性も考えられる。



第10図 短辺，長辺双方の接合部が圧縮された割れ（施設C 2022年2月）

3.2.1.3 角部の割れ

角部では，3cm未満の目地の固着による割れが多く，冬季には上下に引き割かれたようなやや高低差のあるささくれになる傾向があった。同様な割れは角部に近い長辺接合部でも観察された（第13図）。また，施設Cでは短辺接合部と同様の吸湿膨潤にともなう接合部の圧縮と乾燥収縮によると考えられる割れも観察された。角部を含む短辺接合部付近では，夏季にはフローリングの吸湿膨潤により短辺，長辺両方の接合部が圧縮されるため，ダメージを受けやすいと考えられ（第14図），さらに冬季の乾燥収縮時には，反りなどによる三次元的な収縮挙動により，目地の固着箇所が引き割かれて割れが発生しやすく，ささくれになりやすいと推察される。

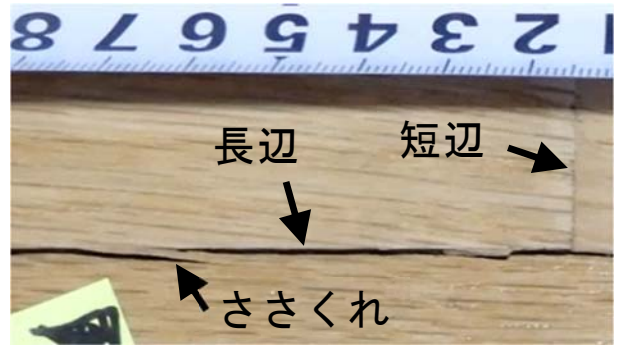
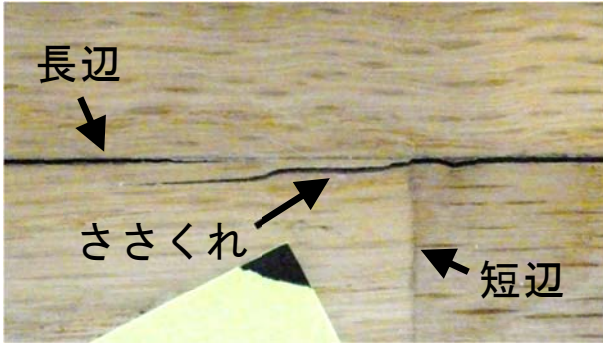


第11図 ダボをまたぐ割れ（施設C 2022年2月）

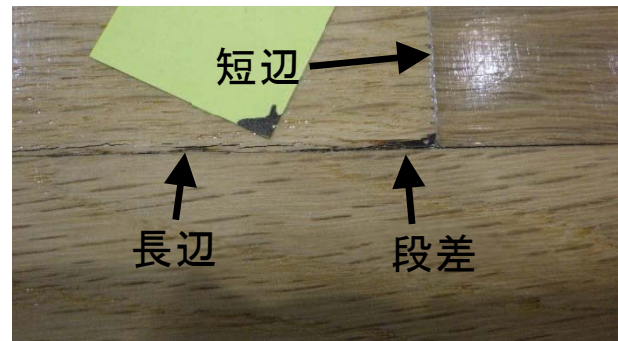
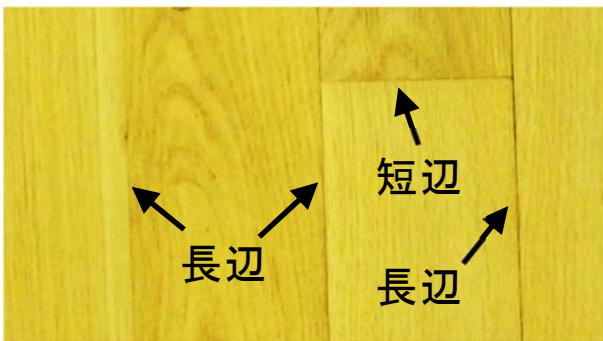
なお，発生箇所にかかわらず，割れは冬季に開き，夏季には閉じて判別しにくくなる傾向があった。



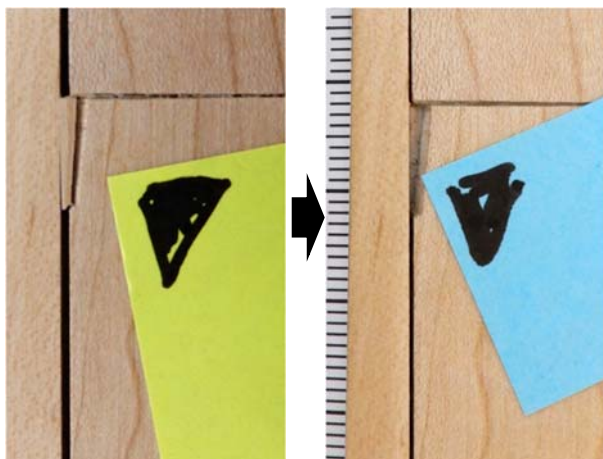
第12図 ビス留め位置でのフローリングの膨潤の抑制の一例（施設C 2024年7月）



第13図 左：冬季の角部のささくれ，右：角部付近の長辺接合部のささくれ（左右とも施設B 2022年1月）



第14図 左：長辺，短辺双方の接合部が圧縮されているフローリング，右：圧縮により生じた段差（左右とも施設B 2021年7月）



第15図 割れから欠けへ進行した事例
 （施設A 左：2021年1月，右：2021年8月）

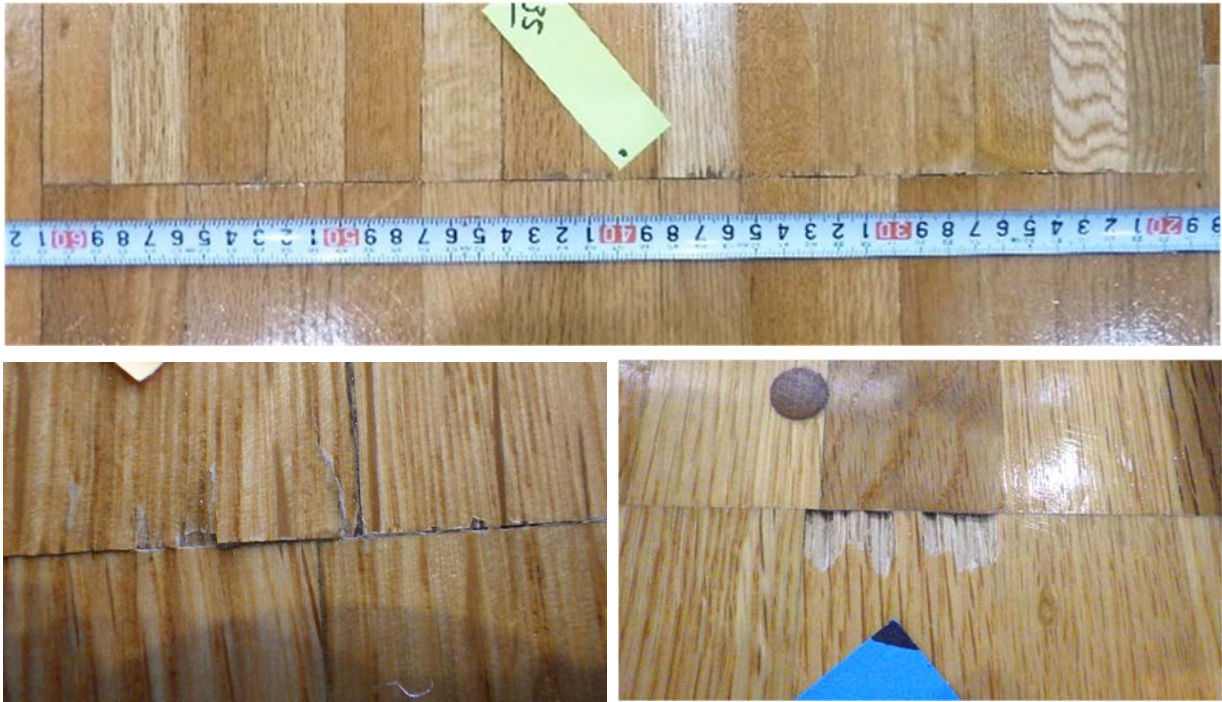


第16図 割れと複合的に発生した欠け
 （施設C 2022年2月）

3.2.1.4 欠け

欠けについては、施設A、Bでは約9割が角部の欠けで（第4図下）、施設Aでは長さ1cm未満の小さな欠けが、施設Bでは長さ7～125mmの細長い形状の欠けが多く発生していた。割れから欠けに進行した事例も見られた（第15図）。角部では段差や引っか

かりやすいささくれが見られたことから、運動等での使用により木片が剥がれて欠けが生じやすいと考えられる。施設Cでは長辺接合部に沿った欠けが8割を占め、欠けの4割は割れと複合的に発生していた。割れと欠けを合わせた長さは最大10.5cmあった（第16図）。



第17図 上：短辺接合部全長にわたる細かい割れ（施設D 2023年3月）
下左：短辺接合部の細かい割れとピース表面の剥離，下右：ピース表面の欠け（左右とも施設D 2022年7月）

3.2.2 複合フローリングの施設（D）

施設Dの複合フローリングは大型積層タイプで、厚さ12mm、幅450mm、長さ1800mmの台板合板の上に、長さ1800mmに縦継ぎした乾燥製材を挽き割って厚さ7mm、幅30mm弱にした表面材ピース（以下、ピースという）を幅方向に並べて接着した後、厚さを18mmに仕上げたものである。施設Dでも、割れ、欠けともに8割が長辺、短辺の接合部で発生し、接合部以外のピースの割れは少なかった。また、単層フローリングの施設と比較し、短辺接合部での発生割合が多かった（第4図）。

短辺接合部では、隣接するフローリングからの圧縮によると見られる短辺全長に渡る細かい割れや、ピース表面の剥離、欠け等の破損が見られた（第17図）。短辺接合部の多くで冬季でも隣接するフローリング同士が密着し、押し合う箇所もあったことから、夏季の吸湿膨潤でさらに圧縮され、割れ、欠けに至ったと推察される。なお、ピースの縦継ぎ箇所がフローリングの短辺端部に近い場合、縦継ぎされたごく短い材が剥離している事例も見られた（第18図）。

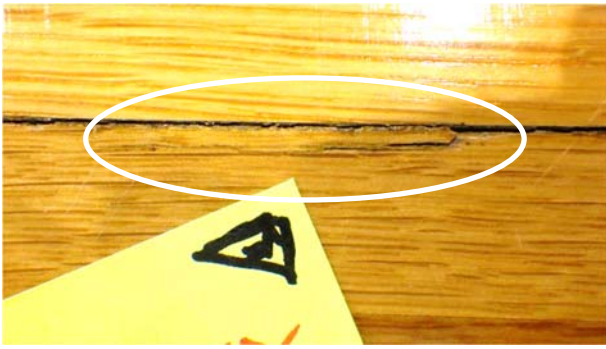
長辺接合部では主に、目地の固着による割れと隣



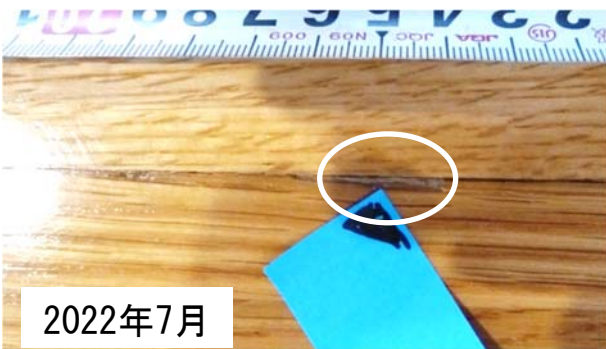
第18図 短辺端部付近で縦継ぎされた短いピースの剥離（施設D 2022年7月）

接するフローリング間の押し合いで圧縮変形したと見られる目地に沿って続く5～7cmの細かな割れが見られた（第19図）。欠けについてはピースの繊維方向に沿った細長い長さ5～7cm程度のものが多く、接合部の割れから進展したと考えられた（第20図）。

短辺接合部で割れ、欠けの発生割合が高い要因として、施設Dの複合フローリングの膨潤率は、製造業者の技術資料⁴⁾によると長さ方向0.014、幅方向0.028であるが、長さが幅の4倍の寸法があるため長さ方向の寸法増加の方が大きく、長辺より短辺でより強く押し合うことが推察される。また、厚さが



第19図 長辺接合部の目地の固着による割れと目地に沿った細かい割れ（施設D 左：2023年3月，右：2022年7月）



第20図 長辺接合部の欠けの増加（施設D 白丸：2022年7月に欠けを確認した部分）

第3表 段差の寸法

	冬季*				夏季*			
	高さ (mm)		長さ (mm)		高さ (mm)		長さ (mm)	
	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大
施設A	0.23	0.70	845	2100	0.13	0.35	843	1750
施設B	0.33	0.90	516	1160	0.10	0.20	382	700
施設C	0.33	0.50	566	1630	0.27	0.50	570	1630

※冬季：2022年 施設A 2月，施設B 1月，施設C 2月
 夏季：2022年 施設A 8月，施設B 7月，施設C 9月

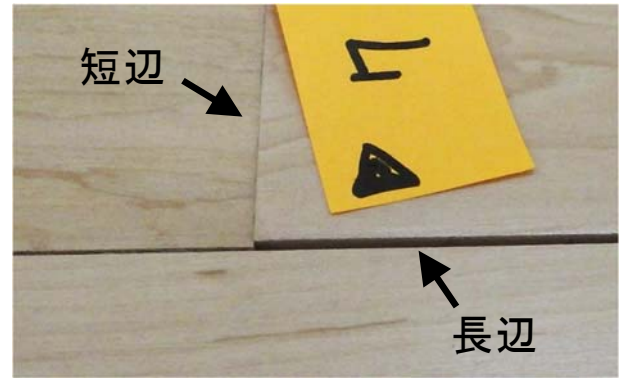
単層フローリングの1/3で、かつ1枚1枚の幅が細いピースが台板の上に接着されている構造のため、フローリング間で押し合いが生じた場合、単層フローリングより割れが生じやすいことやピースが剥がれやすい可能性も考えられる。ただし、複合フローリングの調査施設が1箇所のみのため、他の施設でも同様の傾向があるかは確認が必要である。

3.3 接合部間の段差の発生状況

単層フローリングの施設では、隣接するフローリングの接合部間で段差の発生が見られた。段差は冬季に高く、長くなり、夏季に緩和する傾向があり、

冬季の高さは平均0.23～0.33mm、高いものは1mm近くあった（第3表）。また、夏季と冬季で段差の発生位置や最も高い位置が移動するケースが多く、施設Aでは段差の高い側と低い側のフローリングが夏冬で入れ替わる事例も見られた。夏季と冬季で変化が見られることから、段差の発生にはフローリングの吸放湿に伴う膨潤・収縮が関与していると推察される。

フローリング含水率の季節変化が大きい施設Aでは段差の発生数が割れや欠けよりも多く（第2図）、長辺接合部間に加え、短辺接合部間や角部で発生する段差も4割あった。長辺接合部間では冬季に目地幅が



第21図 左：目地幅の広い長辺目地の段差（施設A 2021年1月），右：下に凸の反りによる角部の段差（施設A 2022年2月）



第22図 短辺がある側のフローリングが高い段差（施設B 2021年1月）



第23図 角部の沈み込みによる段差（施設C 2021年9月）

広い目地で大きな段差が発生する傾向があり（第21図左），長さ2mに渡るものもあった。また，長辺接合部間の段差の9割弱は短辺接合部付近で発生していた。その多くは，短辺接合部間の押し合いにより短辺接合部付近が押し上げられて生じた段差とフローリング自体の反り，幅反りなどにより高低差が生じたものであった。この他，長辺目地を境に片側のフローリング全体が沈下している箇所も見られた。角部では，フローリングの反りやねじれによる短辺，長辺双方の段差が見られた（第21図右）。施設Bでは，段差は主に長辺接合部間で発生し，その8割弱は段差の片側のフローリングに短辺があり，短辺がある側のフローリングの方が高くなっている傾向が見られた（第22図）。施設Cでも段差は主に短辺接合部付近の長辺接合部間で発生しており，角部の沈み込みによる段差やフローリングの曲がりによる段差も見られた（第23図，第24図）。

次に，段差の発生位置と下地合板の割り付け位置を確認したところ，施設Aの段差の7割，施設Bのほぼすべての段差が下地合板の目地近傍のフローリン

グ接合部間で発生していた。このことから，施設A，Bの段差はフローリングと下地合板の膨潤・収縮が複合して発生しているものと推察される。施設Cでは段差の発生位置と下地合板の目地位置との関係は明確ではなかった。施設Cは下地合板の目地幅の季節変化が平均0.1mm未満と小さかったことから³⁾，段差の発生への下地合板の膨潤・収縮の影響が小さいと考えられる。なお，施設Dでは本調査では段差は確認されなかった。

3.4 床面全体の膨潤・収縮

3.4.1 体育館Y方向の膨潤・収縮

通常，フローリング端部は壁仕上げ材の下に収まるか緩衝材やコーキングにより壁や敷居と隙間なく施工されているが，冬季の調査において，施設A，BおよびDのフローリング短辺と壁との間で乾燥収縮によると考えられる隙間やコーキング等の亀裂が観察された（第25図）。隙間や亀裂の幅は，3mm（施設A）～10mm（施設D）程度であった。施設Dではフローリングの長辺と隣接するコンクリート床との境界でも2mm弱の緩衝材の亀裂が見られた。



第24図 フローリングの曲がりによる段差（施設C 左右同一箇所、左2022年2月、右2022年9月）



第25図 壁面との隙間（施設A 2021年1月）およびコーキングの亀裂（施設B 2023年2月）

第4表 イタヤカエデの平均収縮率から試算した収縮量

a: 平均収縮率 イタヤカエデ(繊維方向) ⁵⁾ (%/%)	b: 含水率減少量* 平均値 (%)	c: 体育館長さ方向 全長 (m)	収縮量試算値 (a*b*c*1000/100) (mm)
0.019	4.4	44.3	37.0

* 壁-短辺接合部間の距離の計測期間と同一期間の含水率減少量

そこで、フローリングの膨潤・収縮量を把握するため、施設Aにおいて壁面と壁面に最も近い短辺接合部との距離をフローリング5枚おきに計測した結果、夏季・冬季間で平均16mm変化していた。向かい側の短辺でも同様に変化していると仮定すると、体育館Y方向全体で32mm程度変化すると推定される。ここで、フローリングを床面の長さと同じ全長44.3mの一枚板とみなし、フローリングと同じイタヤカエデの繊維方向の平均収縮率0.019⁵⁾と施設Aのフローリングの含水率測定値から算出した夏季・冬季間の含水率減少量の平均値を用いて、フローリングの収縮量を試算すると37mmとなる（第4表）。推定値の方が小さい理由として、実際には一枚板で

はないため、個々のフローリングの収縮が数十箇所の短辺接合部間で少しずつ吸収されること、フローリングの膨潤・収縮の挙動が、床下地への留め付けによりいくらか拘束されることなどが考えられる。

3.4.2 体育館 X 方向の膨潤・収縮

施設Aでは冬季に、第26図左に示すように、フローリングの短辺側の壁から2m程度の範囲の床面で、壁から離れるほど目地幅が徐々に広くなり、フローリングが体育館X方向にゆがんでいる箇所が観察された。体育館中央を挟んだX方向反対側の床面でも左右対象となる向きのゆがみが観察された。また、同じく施設Aで、目地幅が広い目地が、フローリング長辺の目地に斜めに連なって現れる箇所が、床面



第26図 施設Aで観察された短辺壁面側のフローリングのゆがみ（左：2023年2月）
と幅が広い目地が斜めに現れた事例（右：2020年3月）

全体に散見された（第26図右）。斜めの連なりの幅方向と長さ方向の比は1:3～1:4で、下地合板の短辺を挟む2枚の長辺にまたがる位置に発生するものが多く見られた。これらの現象は千鳥張りで施工されている下地合板の乾燥収縮が一因となっている可能性が考えられる。このような床面全体の動きがフローリングに与える応力と損傷等の関係についても検討する必要がある。

4. まとめ

築年数や暖房等の条件が異なる北海道内の体育館4施設を対象にフローリングの損傷等の発生状況を夏季および冬季に調査した。

フローリングの割れや欠けは、長辺、短辺の接合部と角部（主に単層フローリング）で発生する傾向があり、隣接するフローリングと接していない材面の割れは少なかった。長辺接合部と角部で発生した割れは、フローリングの乾燥収縮によって目地が塗料で固着した箇所が割れたものが多く、ささくれが3～4割存在した。一方、短辺接合部の割れのほぼ全てが吸湿膨潤によるフローリング同士の圧縮が主因と推察され、複合フローリングではピース端部の破損に至る事例もあった。フローリング含水率の季節変化が他の施設より大きく、夏季の含水率が高い施設では、長辺接合部の一部にも同様な割れが観察された。これらのことから、従来、割れの原因とされた乾燥収縮に加え、吸湿による膨潤も割れの一因となることが分かった。また、単層フローリングの割れ、欠けの8～9割が短辺接合部付近で発生してお

り、短辺接合部付近は膨潤時に応力が集中すること、乾燥時に反りなどの三次元的な収縮挙動が起りやすいことから、割れが発生しやすく、ささくれ状になりやすいと推察された。なお、単層フローリングにおける短辺近傍のビス止めやダボ打ちも、短辺接合部の割れの発生に関与する可能性がみられた。

単層フローリングの接合部間の段差は短辺接合部付近で発生する傾向があり、寸法や発生位置が夏季と冬季で変化した。また、下地合板の接合部近傍のフローリング接合部間で発生する傾向があった。このため、フローリングと下地合板それぞれの膨潤・収縮による三次元的な挙動が複合的に関与して段差が発生していると推察された。割れについては、一部の大きな割れを除き、発生位置と下地合板の割り付け位置との明確な関係は確認できなかった。

本調査では、体育館のX方向、Y方向に測定線を設け、測定線上の全てのフローリングを測定することにより、フローリングと下地合板の含水率変化および膨潤・収縮の傾向を把握することができた。しかし、フローリングと下地合板の膨潤・収縮を要因とする損傷等の発生過程を明らかにするためには、損傷等の発生箇所を絞る必要があり、フローリングと下地合板の含水率や膨潤収縮の挙動をより詳細に調査する必要があると考えられた。この際、平面上の伸縮だけではなく三次元的な挙動についても把握する必要があることが判明した。また、個々の床材だけでなく床面全体の動きと損傷等の発生との関連についても把握していく必要があると考えられた。

謝辞

長期間にわたる床調査の実施にあたり、旭川市公園みどり課、芦別市教育委員会体育振興課、道総研林業試験場の担当者の方々、および調査対象施設の管理者の方々に多くのご協力をいただいた。また、毎回の測定作業は当該企業支援部の職員の協力で実施することができた。元林産試験場職員の澤田哲則氏には調査の実施および取りまとめに多くのご協力とご助言をいただいた。この場を借りて厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 高山光子，澤田哲則，近藤佳秀，平林靖，伊佐治信一，北橋善範，戸田正彦，浦弘達，小野昭則：運動施設床における木質フローリングの表面劣化・損傷の発生実態，第 69 回日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM），G15-P-04（2019）
- 2) 高山光子，近藤佳秀，澤田哲則：実大床モデルにおける床下の加湿・乾燥に伴う床構成材の挙動，第 70 回日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM），G17-P2-03（2020）
- 3) 高山光子，近藤佳秀：体育館におけるフローリングの損傷発生要因の検討（第 1 報）温湿度と床材の含水率および伸縮挙動，林産試験場報，**552**，1-12（2025）
- 4) 空知単板工業：SV ダイヤフロア web カタログ資料編，<https://sv-wood.com/pdf/sv-siryo.pdf>，2024 年 8 月 10 日参照
- 5) （社）北海道林産技術普及協会：テクニカルノート 木材乾燥（改訂新版），8（2010）

－技術部 製品開発グループ－
（原稿受理：24.11.20）

木質バイオマス由来ガス化発電副産物の性状

本間 千晶, 西宮 耕栄, 畑 俊充*¹

Properties of gasification biochar produced as a by-product from woody biomass during the process of CHP

Sensho HONMA, Koei NISHIMIYA, Toshimitsu HATA*¹

Keywords : Gasification biochar, CHP(Combined Heat and Power), by-products, characterization
バイオ炭, 熱電併給施設, 副産物, 特性評価

木質バイオマスを燃料とする熱電併給施設では、ガス化のプロセスにおいて発電および熱回収を行うが、ガス化過程で炭素含有量の高い副産物が生成される。このガス化副産物は、粒径が均質で小さい状態で得られる事など、木炭と形状や性質が異なり利用しづらい場合があることから、現在利用があまり進んでいない状況にある。用途開発には、物性や細孔や化学構造の特性評価が必要である。

そこで本研究では、ガス化副産物の有効利用に向け、その性状の把握や有用な特徴を見出すことを目的とし、諸物性を評価するとともに利用における課題、用途開発の可能性について検討した。ガス化副産物の基本物性として、粒度分布、工業分析、元素分析、細孔特性、pH等に関する評価を行った。

その結果、質量平均粒径は0.19mmと非常に細かいことや、炭素を約80%含むことが示されたほか、比表面積は約800m²/gと高い数値となり、pHは11.3といった特徴を有すること、適切な条件設定により造粒も可能なことが明らかになった。そのため、高比表面積を活かした吸着材等への利用のほか、難分解性の炭素量が多いという特徴を活かした場合、粒径を適切に調整することにより土壌改良資材としての用途が想定される。なお土壌改良資材として利用した場合、土壌中への炭素貯留効果も期待される。

1. はじめに

小規模ガス化発電（熱電併給）設備の導入事例が全国的に増加している。北海道内でも下川町、当別町などで導入が進められており、道産材利用や地域の活性化への貢献が期待されている。一方、上記設備では木質ペレットのガス化に伴い副産物が発生する。このガス化副産物は、粒径が均質で小さい状態で得られる事など、木炭と形状や性質が異なり利用しづらい場合があることから、現在利用が進んでいない状況にある。しかし、バイオマス発電等で発生する燃焼灰と異なり、多量の炭素が含まれていることや、細孔が発達しているという報告例¹⁾があることから、より有効な用途開発が望まれている。

用途開発に向け、想定する用途（農業用資材、環

境浄化資材等）に関連する物性評価、その根拠となる細孔や化学構造などの特性を明らかにする必要がある。副産物の組成、性状が明らかとなり、農業用資材や環境浄化資材としての適性を見出すことができれば、製品開発と共に、炭素貯留・隔離、さらに地球温暖化防止への寄与も期待できる。

本研究では、熱電併給施設で発生するガス化副産物の用途開発に向け、その性状を把握し、有用な特徴を見出すことを目的とした。ガス化副産物の基本物性に関する検討を行った結果、化学組成や細孔特性など今後の用途開発に向け有用な知見が得られたので報告する。なお本研究の一部は、2021年度日本炭化学会大会（大阪府茨木市）²⁾ および2022年度日本炭化学会大会（福岡県北九州市）³⁾ で発表した。

2. 実験方法

2.1 供試材料

下川町の熱電併給施設において、木質ペレットをガス化した際に生成したガス化副産物を使用した(写真1)。ガス化原料としては、北海道産木材を用いて製造された木質ペレットが使用されている。



写真1 供試材料（ガス化副産物）
Picture 1. Appearance of gasification biochar

2.2 試験方法

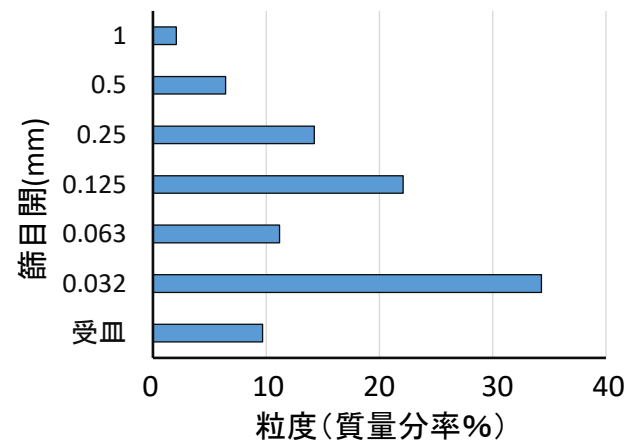
- 1) 粒度分布および充填密度^{4,5)} : JIS K1474に従い、篩目皿を用いて粒度分布を測定した。また、充填密度も測定した。Rosin-Rammler補間による平均粒径の算出を行った。
- 2) 工業分析⁶⁾ : JIS M8812に従い、水分、灰分、揮発分、固定炭素を測定した。
- 3) 元素分析 : 供試材料の炭素、水素、窒素含有量について、柳本製作所CHNコーダーMT-5を用いて測定した。
- 4) pH⁴⁾ : JIS K1474に従い測定した。
- 5) 細孔特性 : 供試材料を水洗処理し、200°Cで4時間脱気処理を行ったのち、測定装置（Beckman Coulter, Inc. Omnisorp 100）を用いて窒素吸脱着等温線を得た。吸着等温線からBET法により比表面積を算出した。本研究では供試材料中の細孔をスリット状の空間と考え、吸着等温線からDR（Dubinin and Radushkevich）法などにより細孔特性の解析を行った。
- 6) 造粒物の試作 : アズワン株式会社パン型造粒機

DPZ-01Rを用い、上記供試材料の造粒物を調製した。バインダーとして廃糖蜜を使用した。

3. 結果と考察

3.1. 粒度分布

ガス化副産物の粒度分布を、第1図に示す。粒径1mm未満の画分が98%を占め、0.032mm未満の画分が10%程度存在した。JIS K1474による平均粒径（メジアン径）は0.18mm（50%点）、質量平均粒径は0.19mm、Rosin-Rammler線図から求めた平均粒径（積算篩上百分率50%点）は0.13mm、充填密度は0.4g/cm³であった。このように、排出されたままの状態では粒径が極めて小さいことから、この特性が有利な用途を見出すこと、もしくは低コストの造粒技術の検討が、用途開発に向け重要と考えられた。



第1図 ガス化副産物の粒度分布

Fig.1. Particle size distribution of gasification biochar

3.2. 工業分析, 元素分析, pH

ガス化副産物の工業分析, 元素分析の測定結果を第1表に示す。元素分析の結果, 炭素含有量は80%程度であり木質由来の炭化物として必ずしも高い値とはいえないが、灰分含有量が15.2%と高い値であること、水素含有量、窒素含有量とも非常に少ないことから、炭素化が十分進行していると考えられた。工業分析の固定炭素、揮発分の測定結果により、炭素の大半が難分解性と考えられた。炭素貯留効果を期待される用途に対し、難分解性の炭素を多く含む重要な資材となり得る。

第1表 ガス化副産物の工業分析値と元素分析結果
Table 1. Proximate analysis and elemental composition of gasification biochar

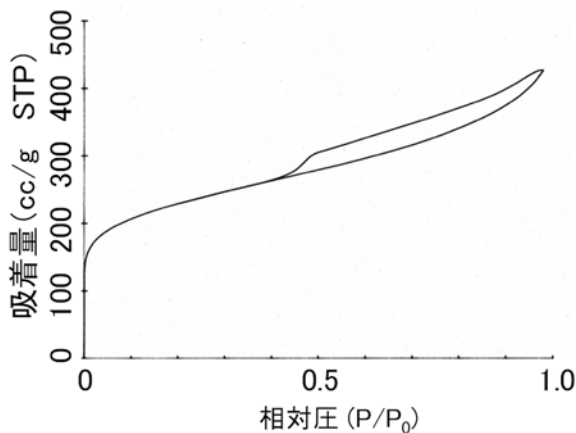
工業分析		元素分析	
水分(%)	3.4	水素(%)	1.0
灰分(%)	15.2	炭素(%)	79.2
揮発分(%)	5.4	窒素(%)	0.2
固定炭素(%)	76.0		

灰分含有量は約15%となり、市販木炭と比べ高いといえるが、その組成は主に原料木材由来のカリウム、カルシウムなどの無機成分と考えられ、多くは酸化物の形で存在していると思われる。これが水に懸濁させた際に溶出することが、11.3という高いpH値を示した主な原因と考えられた。

土壌改良材としての利用において、酸性土壌の中和や植物育成環境の改善に役立つ場合があると考えられる。一方で、pHの高さは植物にとって過剰なアルカリ環境を生じさせるリスクもあるため、適切な使用条件の検討が重要である。

3.3. 比表面積, 細孔特性

ガス化副産物の窒素吸脱着等温線を第2図に示す。低圧部の立ち上がりの急な部分でマイクロ孔内への吸着が起こり、次いでメソ孔, マクロ孔への吸着が起



第2図 ガス化副産物の窒素吸脱着等温線
Fig.2. Nitrogen adsorption and desorption isotherms of gasification biochar

こつたと考えられた。相対圧0.4~1.0においてヒステリシスが観察された。ヒステリシスループのタイプから、スリット状の細孔を有すると推察された。吸着等温線からBET法で算出した比表面積は約800m²/gとなった。市販活性炭に匹敵する値であることから、吸着機能を活かした利用技術の開発も期待される。DR法により細孔分布を求めた場合、Half-width of slit poresとして0.98nm付近が最大値となることなど細孔特性に関する知見も得られた。

3.4. 造粒物の試作

ガス化副産物の用途拡大の試みの一つとして、転動造粒法により造粒物の試作を行った。造粒物の一例を写真2に示す。バインダーをガス化残渣に対し2.5%添加した場合、造粒物粒経は概ね0.125mm以上、4%添加した場合は0.5mm以上となった。落下強度試験^{7,8)}の結果、9割程度の造粒物が形状を維持可能であった。

適切なバインダーを用いることで粒径を調整した造粒物の生成が可能であることが確認された。このことにより農地散布時の取り扱い等の向上に寄与することが示唆された。



写真2 ガス化副産物造粒物の一例
Picture 2. Granulated samples of gasification biochar

4. おわりに

ガス化副産物の有効利用に向け、諸物性を評価するとともに利用における課題、用途開発の可能性について検討した。ガス化副産物の基本物性として、粒度分布、工業分析、元素分析、細孔特性、pH等に関する評価を行った。

その結果、まず粒度については、0.032～0.063mmの画分が30%以上を占め、質量平均粒径は0.19mmであるなど、粒径が極めて小さいことが示された。粒度の小ささを活かした用途開発や低コストの造粒技術の検討が重要と考えられた。

基本物性分析から炭素を約80%含むこと、pHは11.3であることなどが示された。細孔特性を評価した結果、スリット状の細孔を有することが示唆されたほか、比表面積は約800m²/gと高い数値が示された。高い比表面積は吸着材用途への適性を示唆する。さらに難分解性の炭素量が多いことが明らかになったことから、粒径を適切に調整することにより土壌改良資材としての用途、土壌中への炭素貯留効果も期待できる。また、適切な条件設定により造粒も可能であったことから、低コストで有用な資材の開発に繋がると考えられた。

引用文献

- 1) Veronika Hansen, Dorette Müller-Stöver, Jesper Ahrenfeldt, Jens Kai Holm, Ulrik Birk Henriksen, Henrik Hauggaard-Nielsen: Gasification biochar as a valuable by-product for carbon sequestration and soil amendment. *Biomass & Bioenergy*. **72**, 300-308(2015)
- 2) 本間千晶, 西宮耕栄, 畑俊充: 木質ペレット由来ガス化発電副産物の性状, 第19回木質炭化学会研究発表会講演要旨集(茨木市), 12-14(2021)
- 3) 本間千晶, 西宮耕栄, 畑俊充: ガス化発電副産物及びその造粒物の吸放湿能, 第20回木質炭化学会研究発表会講演要旨集(北九州市), 25-26(2022)
- 4) JIS K1474, 活性炭試験方法, (一財)日本規格協会, (2014)
- 5) 荒川正文: 粒度分布とその測定, 色材 **43**, 333-343(1970)
- 6) JIS M8812, 石炭類及び石炭コークス類-工業分析法, (一財)日本規格協会, (2006)
- 7) 日本粉体工業協会造粒分科会: 造粒物の強度の測定方法, 粉体工学会誌 **15**, 213-219(1978)
- 8) 関口勲: 造粒物強度の試験法と評価, 粉体工学会誌 **31**, 808-817(1991)

—利用部 バイオマスグループ—
—*1: 京都大学 生存圏研究所—
(原稿受理: 24.11.22)

薬剤処理防火木材の燃焼抑制作用の経年劣化 (第3報) 屋外暴露 10 年経過後における燃焼性状

河原崎 政行^{*1}, 平舘 亮一^{*1}, 平林 靖^{*2}, 川合 慶拓^{*1},
菊地 伸一^{*3}, 大宮 喜文^{*4}

Fire retardancy of fire-retardant-impregnated wood after natural weathering (III)

Fire performance after 10-years exposure

Masayuki KAWARASAKI^{*1}, Ryoichi HIRADATE^{*1}, Yasushi HIRABAYASHI^{*2},
Yasuhiro KAWAII^{*1}, Shinich KIKUCHI^{*3}, Yoshifumi OHMIYA^{*4}

木材学会誌, 69(1), 30-40 (2023)

Mokuzai Gakkaishi, 69(1), 30-40 (2023)

Keywords : fire retardant-treated wood, natural weathering, fire performance, cone calorimeter, leach-resistant type chemical
キーワード : 難燃薬剤処理木材, 屋外暴露, 燃焼抑制作用, コーンカロリメーター, 耐溶脱性薬剤

難燃剤として耐溶脱性のリン酸アミノ樹脂系薬剤または国内で内装用に使用されるリン系・ホウ素系混合薬剤を用いた薬剤処理木材について, 国内3地点で10年間の屋外暴露を行った。試験の結果, 暴露10年後の処理木材は, 既往の暴露5年後までと同様にリン酸アミノ樹脂系薬剤の残存薬剤固形分量が多く, 燃焼抑制作用の低下が少ないことが分かった。また, 暴露5年後から10年後における無塗装処理木材の燃焼抑制作用の低下は, 暴露5年後までと比べて緩やかであった。それらの処理木材にフッ素樹脂系塗料をポリブタジエン樹脂系塗料と組み合わせた塗装は, 燃焼抑制作用の維持効果が得られ, リン酸アミノ樹脂系薬剤を用いた処理木材では当初の燃焼抑制作用を10年間維持する可能性があることが分かった。また, リン系・ホウ素系混合薬剤を用いた無塗装及び塗装処理木材では, 暴露地間で差異が見られ, 原因として暴露台の設置状況の影響が考えられた。

Fire retardant-treated (FRT) wood with a series of phosphoric acid and amino resin (leach-resistant type) or a mixture of phosphoric acid and boric acid (indoor use type) was weathered for up to 10 years at three places in Japan. Test results showed that FRT wood with a series of phosphoric acid and amino resin had high chemical retention and fire retardancy after 10 years compared with FRT wood with a mixture of phosphoric acid and boric acid. From 5 to 10 years, Decrease in fire retardancy of uncoated FRT wood treated with each fire-retardant was slower than up to 5 years. Fire retardancy of FRT woods with each fire retardant after 10 years, increased by coating with combination of fluorine resin-based and polybutadiene-based paint. FRT wood with a series of phosphoric acid and amino resin might keep initial fire retardancy for 10 years, if coated with the above paint. For uncoated and coated FRT wood with a mixture of phosphoric acid and boric acid, it showed that fire retardancy after 10 years was influenced by weathering sites. The condition for setting up the weathering rack was considered the reason for the influence of the weathering site on fire retardancy of weathered FRT wood.

^{*1} 性能部保存グループ, ^{*2} 北海道立総合研究機構フェロー, ^{*3} 北海道林産技術普及協会,

^{*4} 東京理科大学創域理工学部建築学科

林産試験場報
(林産試験場月報からの通巻552号)

編集人 林産試験場刊行物編集委員会
発行人 地方独立行政法人北海道立総合研究機構
森林研究本部 林産試験場
〒071-0198 旭川市西神楽1線10号
電話 0166-75-4233(代表)
FAX 0166-75-3621
HP <https://www.hro.or.jp/forest/research/fpri/index.html>

令和7年2月28日 発行

令和7年3月 Web公開

JOURNAL OF THE FOREST PRODUCTS RESEARCH INSTITUTE

NO.552, 2025

Research Notes

- A study on factors causing damage to wooden flooring in a gymnasium (I)
Some of these factors were as follows: temperature and humidity in the room and under the floor, moisture content and shrinkage and expansion of wooden flooring, and the floor base plywood (1)
Mitsuko TAKAYAMA, Yoshihide KONDO
- A study on factors causing damage to wooden flooring in a gymnasium (II)
The occurrence of the damage (12)
Mitsuko TAKAYAMA, Yoshihide KONDO
- Properties of gasification biochar produced as a by-product from woody biomass during the process of CHP ... (24)
Sensho HONMA, Koei NISHIMIYA, Toshimitsu HATA

Abstract

- Fire retardancy of fire-retardant-impregnated wood after natural weathering (III)
Fire performance after 10-years exposure (28)
Masayuki KAWARASAKI, Ryoichi HIRADATE, Yasushi HIRABAYASHI,
Yasuhiro KAWAAL, Shinich KIKUCHI, Yoshifumi OHMIYA

FOREST PRODUCTS RESEARCH INSTITUTE
FOREST RESEARCH DEPARTMENT
HOKKAIDO RESEARCH ORGANIZATION

Nishikagura 1-10, Asahikawa
HOKKAIDO, 071-0198, JAPAN