

## ポリエチレンラミネート系加工古紙チップと木材チップを 原料としたボードの製造\*<sup>1</sup>

伊藤 晃\*<sup>2</sup>, 桜井廣明\*<sup>2</sup>, 鈴木滋彦\*<sup>3</sup>, 斉藤藤市\*<sup>3</sup>

## Production of Boards Made from Waste Polyethylene- Laminated Paper Chips and Wood Particles\*<sup>1</sup>

Akira ITO\*<sup>2</sup>, Hiroaki SAKURAI\*<sup>2</sup>,  
Shigehiko SUZUKI\*<sup>3</sup> and Fujiichi SAITO\*<sup>3</sup>

As one of the recycling methods for waste polyethylene-laminated paper (PE-paper), panel materials were made from chipped PE-paper and wood particles. Production techniques and panel properties are discussed.

PE-chips, which were chipped from a mixture of various types of waste PE-papers to pass an 8 mm screen, and ordinary wood particles were used for the furnish to make a thermoformable composite. Panel material was fabricated easily by means of hot pressing at a temperature range from 110°C to 130°C. When it was heated over the melting point of PE, the polyethylene coating of the paper chips acted as a binder in the board made with the mixture of PE-chips and wood particles.

Bending properties, modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE), and internal bond strength of PE-chip boards increased linearly with increasing specific gravity. When wood particles with PE-chips, bending properties of the composite increased, but the internal bond strength did not change. The effect of the moisture content of the wood particles on MOR was relatively small compared to the effect on internal bond strength. The absence of moisture in the wood particles gave a favorable internal bond to the composite. PE-chip board with a specific gravity of more than 0.9 had good water repellency. However, by mixing wood particles with PE-chips, the water absorption and thickness change after one-day of water immersion increased with both decreasing specific gravity and the increasing proportion of wood particles.

*Keywords*: polyethylene-laminated paper, thermoformable composite, wood particles, wasted paper recycling, board making.

現在、廃棄処分されているポリエチレン (PE) ラミネート系加工古紙を有効利用する一つの方法として、ボードの試作を行い、その製造条件及び強度試験を検討した。ボードの原料は各種 PE 加工古紙をチップ化し、8 mm のふるい分けを行ったものと木材チップとを混合し使用した。製造方法は、接着剤無使用で簡単なホットプレス方式にて行い、製造温度は、ラミネートされている PE が溶融して接着剤の働きをする 110°C~130°C が適温であった。

強度性能は、PE チップのみのボード (PE チップボード) において、曲げ性能とはくり強さは、比重が増加すると強度が向上する傾向があった。一方、木材チップと複合化したボードでは、PE チップボードより曲げ性能は向上した。しかし、はくり強さでは差が認められなかった。また、木材の含水率の影響は、曲げ強さには余り影響を及ぼさなかったが、はくり強さに対しては含水率が低いほど強度が向上した。PE チップボードでは比重が 0.9 以上になると優れた耐水性を示し

\*<sup>1</sup> Received January 18, 1993. 本研究の一部は(株)日本木材加工技術協会第10回年次大会 (1992年10月, 東京) で発表された。

\*<sup>2</sup> 静岡県富士工業技術センター Fuji Industrial Research Institute of Shizuoka Prefecture, Fuji 417

\*<sup>3</sup> 静岡大学農学部 Faculty of Agriculture, Shizuoka University, Shizuoka 422

たが、木材チップを混合すると一日後の吸水率と厚さ膨張率は、ボードの比重が減少するにしたがい大きくなり、また、同じ比重でも木材の混合率が増加するに従い大きくなった。

## 1. 緒言

現在、ポリエチレン（以下、PE）ラミネート系加工紙は、牛乳やジュース類等の飲料用カートンをはじめ、紙コップ類、紙製包装資材、印画紙など多分野にわたって利用されている<sup>1)</sup>。平成3年度のこれらの生産量は、全国で推定35万トン以上のぼり、今なお増加の傾向にある。これらの多くは、紙表面に耐水性やガスバリア性向上のために、PEがラミネートされている。このラミネートでは、PEが幾層にもなっていたり、長期保存に耐え得るように、アルミ箔を用いたものもある。

しかしながら、これら加工紙は生産工場での製品以外に、巻き取りロールからの切り落とし端部、汚れや傷による不良品、紙製コップ類などの打ち抜き加工紙などが、絶えず損紙あるいは禁忌品として排出されており、その量は全生産量の3～4%を占めると推定される。これらの一部は紙とPEとを分離し、再び製紙原料のパルプとして利用されているが、その多くはPEラミネート系加工紙が多種であることや、紙とPEとを分離するための薬品が内部にすぐ浸透しないこと、分離されたPEの処分に問題が残ること等の理由で再利用され難く、そのほとんどは産業廃棄物として取り扱われ、焼却されるか埋め立てられているのが現状である<sup>2)</sup>。

そこで、これらの問題を解決するために、アルミ箔を含んだPEラミネート系加工古紙をチップ化することにより、分類せずまた種類を前もって選別することなく、すべてのPE加工紙をボード原料に利用することを検討した。今回は、このPEチップと木材チップと混合したボードを試作し、基礎的な性能試験を行い、ボードの製造条件と性能との関係を検討した。

## 2. 試験方法

### 2.1 原料チップ

PEラミネート加工古紙の構成の一例をFig. 1に示す。これはアルミ箔が挿入された例で、再利用が困難とされているものである。本試験では、PEラミネート加工古紙の種類が豊富であることから、各種損紙を混合して利用することを検討した。製紙工場から排出された巻き取りPEラミネート系加工古紙損紙（アルミ箔入り、未晒クラフト紙、晒クラフト紙等）を各種混合してチップ化し、8mmメッシュに

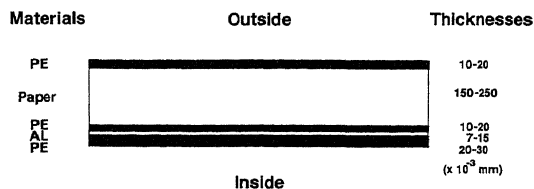


Fig. 1. A cross section of polyethylene laminated paper.

Notes: PE: Polyethylene, AL: Aluminum foil.

て、ふるい分けをしたものを原料として使用した。木材チップはスギの建築解体材から得られたストランド状のもので、厚さ約0.5mm、長さ10～30mmである。PEチップの含水率は5.6%、木材チップの含水率は、含水率を変動させたチップ以外は12.0%であった。

### 2.2 ボードの製造方法

熱圧時にPEが熔融し、冷却により接着力が発現することに着目した。すなわち、古紙チップにラミネートされているPEの熱可塑性を利用してボードを成板することを試みた。このため、今回試作したボードは接着剤を使用せずに、PEの結合力でチップ間の結合は行われている。

試作したボードはTable 1に示す混合比で、PEチップのみのボード（以下、PEチップボード）と木材チップと複合化したボード（以下、PWチップボード）を製造した。表中にPW21と記したものは、重量割合でPEチップ2に対し木材チップ1を混合したボードを表す。製造方法は目標量のPEチップと木材チップを混合しフォーミングした後、熱板へのチップの付着を防ぐために両面にガラス繊維入りテフロンシート（0.3mm）を挿入し、更に外側をアルミ板（5mm）で挟み熱板にて圧縮した後、コールドプレスを行った。製造条件は、熱板温度130°C、圧力10 kgf/cm<sup>2</sup>、熱圧時間10分間とした。試作したボード寸法は340mm×320mm×12mmで各混合比

Table 1. Mixing ratios based on air-dried weights for each board type.

Symbols	PE-chips	W-chips
PE	100	0
PW41	80	20
PW31	75	25
PW21	67	33

につき2枚以上試作した。

### 2.3 ボード内部の温度測定

製造時におけるボード内部の温度上昇経過を調べるため、2つの試験を行った。はじめに、PEチップボードの厚さの影響を調べるため、ボード厚を3, 6, 10, 12, 24 (mm)と変化させた試験。

次に、PWチップボードの木材チップの含水率の影響を調べるために、木材チップの含水率を0, 4, 6, 9, 12 (%)に調湿した後、PW21ボードの温度上昇について行った試験である。

温度測定方法は、ボード中心部に熱電対を入れ、ボード製造時の温度上昇を10秒間隔で記録した。なお、それぞれの目標比重は前者を0.9、後者を0.8とした。

### 2.4 材質試験

製造したボードを25°C, RH65%環境下で1週間以上調湿した後、ボードから、幅50 mm×長さ320 mmの曲げ試験片を採取し、JIS A 5908に準じて、曲げ強さ、曲げヤング係数を求めた。曲げ試験後、非破壊部分より50 mm×50 mmの試験片を採取し、はくり強度を求めた。また、耐水性を評価するために、常温수에24時間浸漬した後の吸水率と厚さ膨張率を求め、乾燥させた後、はくり試験を行った。試験片は各々の条件につき10個用いた。

## 3. 結果と考察

### 3.1 ボード内の温度上昇

厚さの異なる5種類のPEチップボードのボード製造時の温度上昇について、その経過をFig. 2に示す。厚さが3 mmと薄いボードは、2分間ほどで120°Cに達し、厚さ24 mmのボードでは、22分間要した。ボード厚が増すと、製造時間が非常に長くなった。個々の温度上昇においては、ボードの厚さにかかわらず、107°C付近に一度温度上昇が遅滞するような点、いわゆる一つの停滞点が現れた。これは、PEの溶融温度が107°C付近にあることにより、PEが溶融時に吸熱反応を起こし、熱板からボード内部に供給された熱がPEの溶融熱として消費されるためと、水分の蒸発で消費される事が考えられ、外観的にはボード内部の温度上昇が一時的に緩やかになるように見える。このため、ボード製造にはこのPEの溶融温度以上にする必要があると考えられる。また、熱板の温度を150°C以上にした予備実験では、PEチップ内の水分が急激に蒸気となって、バンク現象を起こすボードがあった。このことから、ボードの製造温度は110~130°Cが適温であると思われる。

一方、PEチップと木材チップを混合してボード

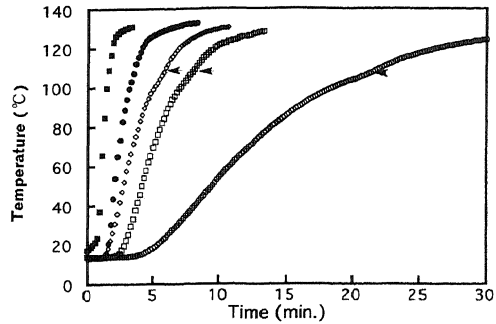


Fig. 2. Effects of board thicknesses on temperature behaviors of PE boards during pressing.

Legend: Board thickness: ○: 24 mm, □: 12 mm, ◇: 10 mm, ●: 6 mm, ■: 3 mm. ←: melting points.

Notes: Target specific gravity 0.9, platen temperature 130°C.

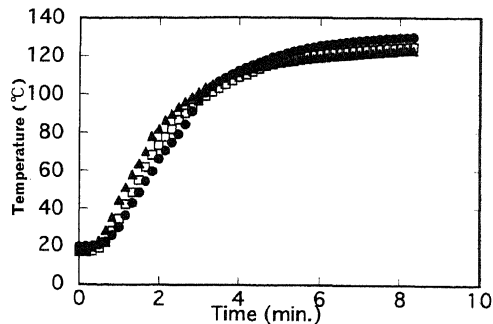


Fig. 3. Effects of wood chip moisture contents (M. C.) on temperature behaviors of PW21 board during pressing.

Legend: Wood chip M.C. (%), ●: 0%, □: 6%, ▲: 9%.

Notes: PE chip M.C. 5.6%, target specific gravity 0.8, platen temperature 130°C.

製造を行う際に、問題となる木材チップの含水率について検討した結果をFig. 3に示す。木材チップの含水率が0%のボードの温度上昇は、100°Cに到達するまでは遅いが、100°Cを越えると、他よりも急激に温度が上昇し、熱板の温度である130°Cに接近する。一方、木材含水率9%のボードは、100°Cに到達する時間は速いが、その温度を越えてからは、緩やかな温度上昇を示し、熱板の温度に到達する時間はかなり要す。これは、木材チップの含水率が高いボードは、ボード内部の温度が100°Cに到達する間は、木材チップよりも水の方が熱伝導率が高いので、気化した水分の移動によって熱エネルギーが伝えられ、ボード内部の温度上昇が速くなると思われるが、100°C

を越えると水分の蒸発に熱が奪われ、温度上昇が鈍るためと考えられる。木材チップ含水率6%及び12%のチップも同様な結果を示した。

### 3.2 強度と木材チップの含水率の関係

Fig. 4, 5にPEチップと木材チップを混合したPWチップボードの曲げ強さとはくり強さに及ぼす木材チップ含水率の影響を示した。曲げ強さは木材チップの含水率が高くなると、多少高くなっていく傾向があるが、その差に有意性は認められなかった。しかし、Fig. 5に認められるように、はくり強さは木材チップの含水率が高くなると明らかに低下していく傾向がある。これは、PEの接着性には木材含水率が影響し、木材に水分が少ないほど、PEとの吸着性が良くなり、木材チップとPEとの接着力が強固になっていくためだと考えられる。曲げ強さにこの傾向が現れなかったのは、はくり強さはボード間の純粋な垂直方向の接着強さを示すのに対して、曲げ強

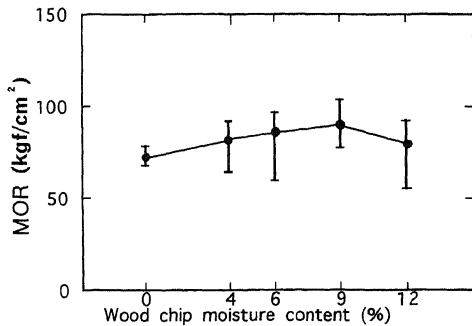


Fig. 4. Relationships between wood chip moisture contents and modulus of rupture (MOR) of PW21-board.

Legend: - : maximum or minimum, ● : average.  
Note: PE chip moisture content 5.6%.

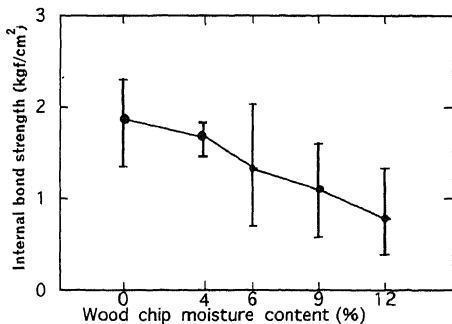


Fig. 5. Relationships between wood chip moisture contents and internal bond strengths of PW21-board.

Legend: - : maximum or minimum, ● : average.  
Note: PE chip moisture content 5.6%.

さはボード水平方向のチップ間の結合力やチップ自体の強さなどが関与しているためだと思われる。

このことから、木材チップを乾燥させてPEと結合させた方が、ボードの強度性能、特にはくり性能の向上と、ボード製造時間短縮に効果があると考えられる。

### 3.3 物理的性質に及ぼす混合比率の影響

#### 3.3.1 曲げ性能

製造したボードの曲げ強さの結果をFig. 6に示す。PEチップボードの曲げ強さは、比重0.70~1.05の範囲で25~190 kgf/cm<sup>2</sup>の範囲であった。PEチップボードは比重の増加に従い、曲げ強さも直線的に増加し、この相関係数は0.977を示し、高い相関性が認められた。この関係から比重を知ることにより、目標とする曲げ強さの推定は可能となった。JISに規定してあるパーティクルボードの150タイプでの曲げ強さは130 kgf/cm<sup>2</sup>で、この曲げ強さを得るためにPEチップボードでは、比重が0.93以上必要であり、同じ曲げ強さを持つパーティクルボードや中比重のファイバーボードと比較した場合、かなり比重が高くなる。

またPWチップボードの曲げ強さは、PEチップボードに比べて同比重での曲げ強さは、高くなっている。例えば、比重が0.8の時のPEチップボードは曲げ強さが70 kgf/cm<sup>2</sup>程度であるが、PWチップボードは100 kgf/cm<sup>2</sup>であり曲げ強さは向上する。混合比率に関してみると、PW21ボードの曲げ強さは回帰直線と離れて強くなっているが、PEチップが増加して、木材チップが減少するにつれ、PEチップボードの強度に接近していた。

これは木材チップを混合することにより、木材チップ自体の強度がPEチップ自体の強度よりも強いことから、木材との複合化により、強度が増加した

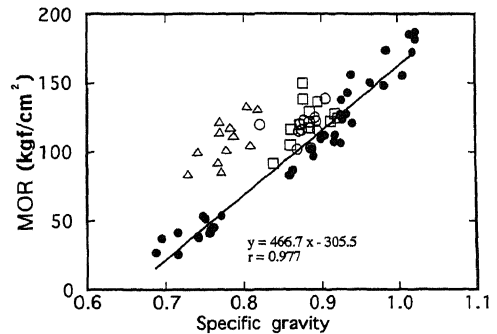


Fig. 6. Relationships between specific gravities and modulus of rupture (MOR).

Legend: ● : PE, regression line, △ : PW21, □ : PW31, ○ : PW41.

ものと考えられる。このため、高比重でないと十分な曲げ強さ得られないという PE チップボードの欠点は、木材チップと複合化することにより、改善されることが認められた。

曲げヤング係数の結果を Fig. 7 に示す。曲げ強さの結果と同様に、PE チップボードでは比重の増加に伴い、ヤング係数が増加する直線的な関係が認められた。また、PW チップボードでは木材チップと複合化することにより、同比重による PE チップボードよりもヤング係数は高くなった。

### 3.3.2 はくり強さ

ボード面に垂直方向の引張試験で求められるはくり強さは、チップ小片とチップ間の接着性能の判定尺度として重要なものである。比重とはくり強さの関係を Fig. 8 に示す。PE チップボードのはくり強さは、比重 0.7~1.05 の範囲で 0.8~6.5 kgf/cm<sup>2</sup> の値を示した。曲げ性能と同様に比重が高くなると、はくり強さが大きくなり、この関係も直線的な関係

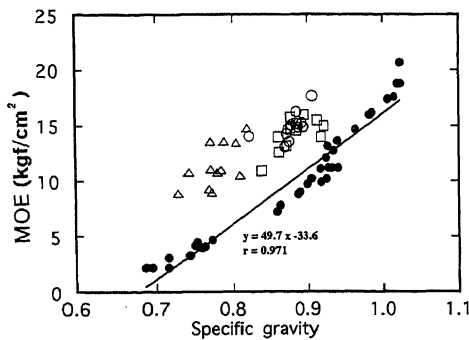


Fig. 7. Relationships between specific gravities and modulus of elasticity (MOE).

Legend: ●: PE, regression line, △: PW21, □: PW31, ○: PW41.

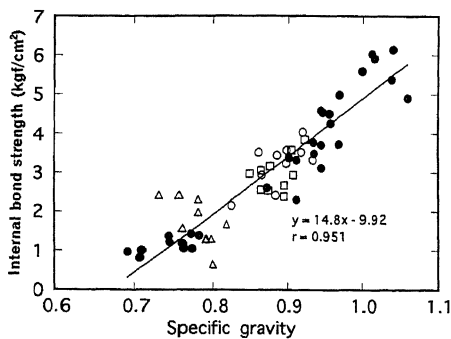


Fig. 8. Relationships between specific gravities and internal bond strengths.

Legend: ●: PE, regression line, △: PW21, □: PW31, ○: PW41.

が認められ、相関係数は 0.951 と高い。これは比重の高いボードでは、製造時にチップ間にかかる圧力が大きいために、強固な接着力が得られるが、比重が低くなるにつれ、空隙が増し、チップ間にかかる圧力が低くなるため、接着性が低下するものと考えられる。

一方、PW チップボードの比重に対してのはくり強さは、PE チップボードとほとんど変わらない。木材との混合比率を見ると、PW21 では比重に対して、はくり強さのパラツキの幅が若干大きくなっているが、PW31 と PW41 はほとんど PE チップボードと変わらない強度分布を示した。これは木材チップと複合化してもボードのはくり強さは変わらず、比重からはくり強さの推定が可能であることを示している。

次に、24時間水中浸漬した後のはくり強さの結果を Fig. 9 に示す。PE チップボードでは、Fig. 8 で示されている回帰直線を基に常態の強度とを比較すると、若干パラツキが大きくなるものの、ほとんど水中浸漬による強度の低下が認められない。しかし、PW21 と PW31 では常態時の強度より 15~20% 程度の強度低下が認められた。これは、PE チップのみでは、Fig. 1 で示すように PE チップ自体の表面に、PE の膜が形成されているため、水に対しての膨潤は、表面からの浸透がほとんど行われず、断面からの浸透がわずかにあるだけと思われる。しかし、木材チップを混合すると、木材チップが膨潤し PE チップはあまり膨潤しないため、木材と PE との相違が現れ、接着性能の低下を引き起こし、はくり強さが低下したためと考えられる。

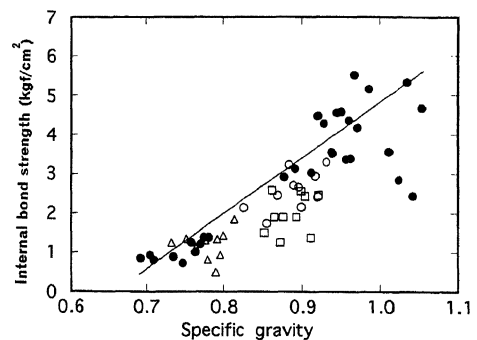


Fig. 9. Relationships between specific gravities and internal bond strengths after water immersions for a day.

Legend: ●: PE, △: PW21, □: PW31, ○: PW41, — regression line is for non-treated PE board.

### 3.4 耐水性について

24時間水中浸漬した後の吸水率と比重の関係を Fig. 10 に示す。PE チップボードは比重が0.8以上になると、吸水率が著しく低下し5%前後となるが、比重0.8以下では若干大きくなっている。これは比重が小さくなるとボード内の空隙が増すため、水分を吸収する箇所ができるためであり、また逆に比重が高い場合は、PE チップに加えられる圧力が高くなり、結果として溶融したPEがチップの破断面などの部分まで浸透することにより、潑水性が増すこともその原因と考えられる。

PW チップボードは、木材自体が水を吸収するために、吸水率15%以上とPEチップボードよりかな

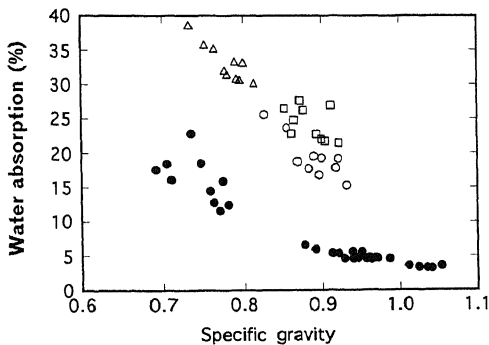


Fig. 10. Relationships between specific gravities and water absorptions after a day.

Legend: ●: PE, △: PW21, □: PW31, ○: PW41.

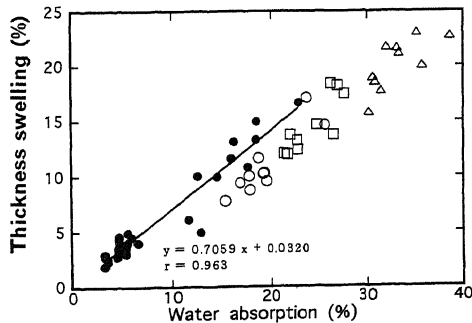


Fig. 11. Relationships between water absorptions and thickness swellings.

Legend: ●—: PE, regression line, △: PW21, □: PW31, ○: PW41.

り大きな値を示した。比重が小さくなると吸収率が大きくなる傾向を示した。木材チップの混入はPEチップボードとの比較では、同一比重では強度を増加させる正の要因となるが、水分に対しては負の要因となることを示すものである。

次に、吸水率に対する厚さ膨張率の関係を Fig. 11 に示す。PEチップボードではほぼ直線的であり、同様にPWチップボードではその直線式より低い値を示すが、ほぼ直線的な傾向が認められた。

木材チップとの混合比率に注目すると、PW21のボードは、吸水率も厚さ膨張率も非常に大きい。しかし、PEチップの混合率が増加する程、吸水率及び厚さ膨張率も減少し、PEチップボードの値に接近していた。PEチップの添加量の増加により、木材チップの量が減少するためと、PEが木材チップを覆うためであると思われる。

## 4. 結 論

PEラミネート系加工古紙は損紙として排出されるばかりでなく、古紙としての回収も増加する傾向にあり、その再利用技術が検討されている。本研究では、再利用が困難とされるアルミ箔ラミネートPE加工紙も含めた多種類のPE加工紙の再利用方法の一つとして、チップ化しボード化すること、及び木材チップとの複合効果に関する基礎的な知見を得ることを目的とした。

(1) PEチップは110°C以上に熱圧することで容易に成板できた。木材チップを混合した場合も、ラミネートされたPEがバインダーとなり成板可能であった。

(2) PEチップボードでは、曲げ性能、内部結合力とも比重と正の相関が認められた。

(3) 木材チップを混合することにより、曲げ性能を向上させることが認められた。木材チップの含水率は曲げ強さには影響を及ぼさないが、混合ボードのはくり強度は低含水率ほど高い値が認められた。

## 文 献

- 1) 松本光次ほか69名：“ラミネート加工便覧”，加工技術研究会，1978，p. 3-10, 224-227, 229-308.
- 2) 長 克弘，遠藤脩造：紙パルプの技術，43(2)，40-45 (1992).