

加熱ロール機を用いた木質 - プラスチック複合体の試作

三宅 裕行 世良 英美

Trial production of wood-plastic composites using hot roller .

Hiroyuki MIYAKE, Hidemi SERA

For the purpose of effective use of pruning twigs and leaves, wood-plastic composites which consist of non-dried pruning twigs, leaves and polyethylene were prepared using a hot roller. As the result, by mixing the materials for 20 minutes and adjusting a roll gap, the composite boards which contain non-dried pruning twigs and leaves about 50 weight % was obtained, and the strength and the thickness of the boards were uniform. The method of preparation and the characteristics of the composites were shown in this report.

Keywords: Pruning Twigs and Leaves, Polyethylene, Wood-Plastic Composite, Hot Roller, Mixture

剪定枝葉の有効利用方法を模索する試みの一環として、未乾燥の剪定枝葉とポリエチレンとを加熱ロール機を用いて混練し、木質 - プラスチック複合体を試作した。実験の結果、原材料を20分間混練してロールギャップを調整することで、剪定枝葉の重量比が50重量%で厚さと強度が均一な板状の複合体を得ることができた。本報では、試作した複合体の成形条件および物性試験結果を述べる。

キーワード：剪定枝葉、ポリエチレン、木質 - プラスチック複合体、加熱ロール、混練

1. はじめに

木材は、炭酸ガスと光で再生可能な資源であり、材内に地球温暖化の原因となる炭素を大量に固定できること、廃棄時にサーマルリサイクルが可能なこと、腐朽すれば自然界に還ることなどから、地球環境保全の見地からもより効果的な利用が期待されている。

近年、木質資源を有効利用する方法の1つとして、木粉と熱可塑性プラスチックを熱と力で物理的に混練し、両者の性質を併せ持った機能性材料を得る研究および製品開発が進められている⁽¹⁾⁽²⁾。この木質とプラスチックの複合化は、その利点にプラスチックの生産性を木質材料に導入可能、未利用資源が活用可能、原材料が非毒性、原材料のリサイクルが可能なことなどが挙げられ、資源循環型社会に貢献できる技術として注目されている。しかし、

既存の木質 - プラスチック複合体の製造方法は、プラスチック製品の製造方法を応用した圧縮成形、押出成形、射出成形が主流となっており、製造工程では木質原料の粉碎、異物の除去、乾燥などが不可欠で、原料に多くの制約がある。そのため、市販製品は緻密かつ高性能なものに限られ、非常に高価なものとなっているのが現状である。

未利用木材資源を、これまでに無い安価な方法で木質 - プラスチック複合体に変換し、有用な製品を創製することができれば、新しい資源活用の道を拓くことができると考えられる。

そこで、本研究では、剪定枝葉の有効利用方法を模索する試みの一環として、加熱ロール機を用いた混練によって、未乾燥の剪定枝葉とポリエチレン（以下PEと称す）を原料とする薄板状の木質 - プラスチック複合体（以下複合体と称す）を試作し、

成形可能な条件と試作した複合体の諸物性を調べ、製品化の可能性を検討した。

2. 実験方法

2.1 原材料

剪定枝葉は、市内の緑地に植栽されている健全なクスノキの枝先から直径4mm以下の細枝部分を採用して使用した。採取した枝葉は、乾燥を防ぐために業務用ポリ袋に入れて冷暗所で保存し、採取後5日間以内（含水率が120 %以上）の剪定枝葉または葉のみを供試した。

PEは、低密度PEである透明の業務用ポリ袋（三井化学プラスチック株式会社 K-17）および黒色のゴミ袋（福助工業株式会社 コスモス No.45）を使用した。

図1に使用した原材料の外観を示す。



剪定枝葉

葉のみ

業務用ポリ袋

ゴミ袋

図1 原材料

2.2 使用機器

加熱ロール機は、ゴム及びその他化合物、各種合成樹脂を練り合わせてシート状の試験片を作るための熱媒加熱式テストロール（株式会社小平製作所 R-2-CC型）を使用した。同装置は、混練部、駆動部、加熱部で構成されており、混練部において、2本の鋼製ロールが互いに内向きに回転することで、投入された原材料を挟み込み、熱と力によって混練する仕組みとなっている。表1に装置の基本仕様、図2に装置の外観を示す。また、図3に装置の混練部を示す。

表1 加熱ロールの基本仕様

構成	概要
混練部	ロール数：2 ロール外寸：150×L347(mm) ロール材質：S45C ロール表面：HCrメッキ鏡面研磨 ロールギャップ：0~5(mm) 幅寄せ：左右移動式ガイド板 幅寄せ材質：MCナイロン
駆動部	ロール回転数：10~40(rpm)
加熱部	加熱方式：オイル循環方式 最大加熱温度：200()



図2 装置の外観



図3 装置の混練部

2.3 複合体の試作方法

未乾燥の剪定枝葉とPEの混練、および成形物の作製は以下の手順で行った。

2.3.1 加熱ロール機の運転

換気装置を備えた屋内で、前側ロールの回転速度を20.8 r.p.m.、後ろ側ロールの回転速度を17.8 r.p.m.、両ロールの表面温度を155±5 に設定にして運転した。また、ロールギャップを0.5 mm、幅

寄せギャップを270 mmに設定した。

2.3.2 原材料の秤量

未乾燥の剪定枝葉とPEが所定の配合となるように、電子天秤を用いて原材料を秤り採った。本実験では複合体に含まれる剪定枝葉の量を明確にするため、剪定枝葉の重量比は水分を含まない値で示した。

2.3.3 原材料の投入

所定量のPEを1分間かけて少しずつ加熱ロールに投入し、その後、3分間かけてロール表面に均一に溶着させた。続いて、所定量の剪定枝葉をロール上に少しずつ投入した。剪定枝葉の投入量が急激に増すと、ロールに溶着しているPEがロールから剥落するため、剥離が生じないように溶着状態を観察しながら、剪定枝葉の投入量を調節した。また、ロールから剥落した剪定枝葉およびPEは再びロール上に投入した。このようにして、剪定枝葉の投入は10分間かけて行った。図4に溶着しているPE、図5に投入された剪定枝葉の様子を示す。

2.3.4 原材料の混練

原材料を加熱ロール上に全て投入した後、5分以上の混練を行った。その際、ロールによる混練をより効率的に行うため、鋼製へらを用いて手作業で混練補助を行った。混練補助は、ロール端部から複合体を一部切り出し、それをロールの中央部に巻き込ませる操作を繰り返し行った。併せて、混練している複合体がロール表面から剥離しないように、ロールギャップを0.5~2.7 mmの範囲で適宜調節した。図6にロール表面に溶着している複合体を、図7に手作業による混練補助の様子を示す。

2.3.5 複合体の切り出し

加熱ロールに溶着している複合体の切り出しは、左手に持った鋼製へらで複合体の左端から右端へ水平方向へ一気に切り込みを入れ、端部に跳ね上がった複合体の一部を右手で掴み、そのまま、加熱ロールから離れる方向へゆっくりと複合体を引っ張ることにより行った。

2.3.6 複合体の成形および冷却

加熱ロールから切り出した複合体は、すぐに水平な台の上に置き、合板を用いて両面から168 Paの圧力で挟み込んだ状態で常温冷却した。

2.4 複合体の物性試験方法

原材料および試作した複合体の物性測定・評価は、

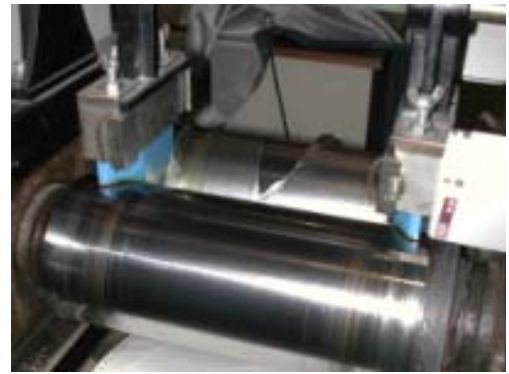


図4 溶着しているPE



図5 投入された剪定枝葉

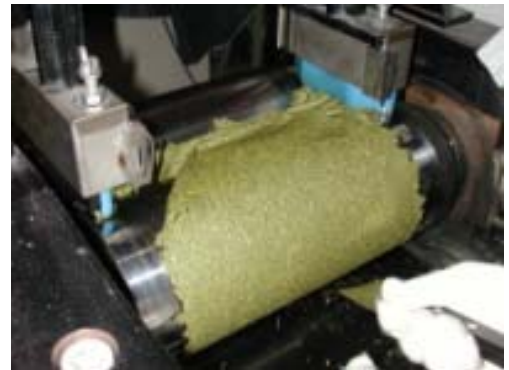


図6 溶着している複合体



図7 手作業による混練補助

以下の試験方法で行った。

2.4.1 密度

JIS Z 2101の3.3に準拠。

2.4.2 含水率

JIS Z 2101の3.2に準拠。

2.4.3 吸水率

JIS Z 2101 5に準じて48H水中浸漬し、次式により求めた。

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{\text{吸水後の重量}(\text{g}) - \text{全乾時の重量}(\text{g})}{\text{全乾時の重量}(\text{g})} \times 100$$

2.4.4 吸水膨張率

JIS Z 2101の5に準じて48H水中浸漬し、次式により求めた。

$$\text{吸水膨張率}(\%) = \frac{\text{吸水後の寸法}(\text{mm}) - \text{全乾時の寸法}(\text{mm})}{\text{全乾時の寸法}(\text{mm})} \times 100$$

2.4.5 引張強さ

JIS K 7162の5A形に準拠。

2.4.6 促進耐候性

キセノンアークランプ式ウェザーメーターを用い、JIS K 5600の7.7に準じて表2に示す条件で行った。

表2 ウェザーメーターの設定条件

項目	設定
キセノンアークランプ	550 W/m ² [波長290-800 nm]
降雨サイクル	18/120分
インナーフィルター	石英
アウターフィルター	# 275
B.S.T	65

3. 結果および考察

3.1 複合体の様相

図8にロールギャップを1.5 mm として切り出した4種類の複合体の外観を示す。剪定枝葉とPEを合わせた500 g の原材料から、厚さ2×幅270×長さ800 mm 前後の複合体が得られた。冷却後の厚さが2 mm 以下の複合体であれば、工作用のはさみを用いて切断することが可能であった。

また、複合体は、従来の製品には無い色彩、触感、木質分に由来する香りを有していた。複合体を身近な製品に使用することができれば、人にやすらぎと親しみを与えうると考えられる。



図8 切り出した複合体

3.2 複合体の成形可能な条件

3.2.1 原材料の配合が混練状態に与える影響

加熱ロール機を用いて原材料の混練を行うためには、原材料のロール表面への溶着が不可欠である。溶着が不十分な場合には、原材料がロールから剥離または剥落し、均一な複合体を効率的に作製することはできない。図9に原材料がロールに溶着してスムーズに混練が行われている様子、図10にロールから原材料が剥離してロールが空回転している様子を示す。



図9 スムースな混練

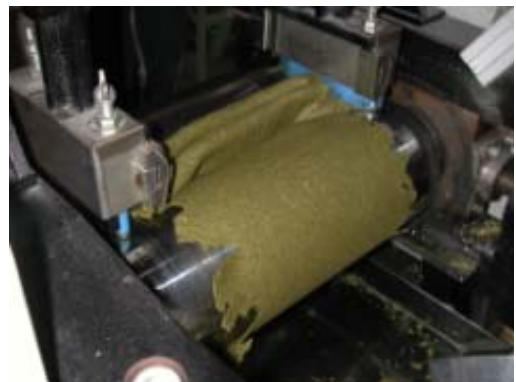


図10 ロールの空回転

実験では、ロールギャップを1.0 mm に設定した上で、剪定枝葉とPE（業務用ポリ袋）の重量比を変えて複合体を試作し、原材料の重量比が加熱ロール表面における複合体の溶着・混練状態に及ぼす影響を調べた。

表3に試作した複合体の原材料の重量比、総重量、加熱ロール表面における複合体の溶着・混練状態を示す。剪定枝葉の重量比が29～51 wt %の時はロールに複合体が適切に溶着して混練がスムーズに行えるが、54 wt %の時は複合体がロールから部分的に剥離して混練がやや困難となった。また、剪定枝葉の重量比が62 wt %の時は、ロール表面から複合体が全面的に剥離して混練が困難となった。このことから、ロールギャップが一定の時、複合体のロールへの溶着力は剪定枝葉の重量比が高いほど低下することがわかった。剪定枝葉を有効利用する観点からは複合体に含まれる剪定枝葉の重量比をより高くすることが望まれるが、ロールギャップを1.0 mm に設定した場合、添加可能な剪定枝葉は約50 wt %が上限と考えられる。一方、剪定枝葉の重量比をそれより低くすれば、複合体のロールへの溶着力が高くなるため、ロールギャップを1.0 mm 以上に設定して複合体を混練することが可能であった。

表3 原材料の重量比と混練状態

原材料の重量比 (wt %)		原材料総重量 (g)	加熱ロール表面における複合体の溶着・混練状態
剪定枝葉	PE		
29	71	423	複合体が表面に適切に溶着し、混練がスムーズ
38	62	484	
51	49	368	
54	46	581	複合体が表面から部分的に剥離し、混練がやや困難
62	38	477	複合体が表面から全体的に剥離し、混練が困難

3.2.2 ロールギャップと成形物の厚さの関係

得られる成形物の厚さは、複合体を切り出す時点のロールギャップの設定により変わる。ロールギャップを小さくするほど得られる成形物は薄くなり、ロールギャップを大きくするほど得られる成形物は厚くなる。実験では、ロールギャップによる成形物の厚さの変化と、ロールギャップを一定にして得た複数の成形物の厚さの均一性を調べた。

表4にロールギャップと得られた成形物の厚さを示す。剪定枝葉の重量比を29～54 wt %に変えて実験を行った結果、得られた成形物の厚さは、ロールギャップの設定に対していずれも大きくなった。これは、ロールギャップ部分において原材料が大きな圧縮応力を受けているためと考えられる。設定したロールギャップと得られた成形物の厚さは異なっているが、成形物の厚さはロールギャップに比例して大きくなるため、ロールギャップを適宜に設定すれば、所定の厚さの成形物を得ることが可能と考えられる。

表4 ロールギャップと得られた成形物の厚さ

原材料の重量比 (wt %)		混練・切出時のロールギャップ (mm)	切出・成形・冷却後の厚さ (mm)
剪定枝葉	PE		
54	46	0.5	1.0
51	49	1.0	1.5
51	49	1.7	2.2
38	62	2.7	3.7
29	71	2.5	3.7

続いて、図11に原材料の重量比とロールギャップを一定条件にして試作した20枚の成形物の冷却後の厚さを示す。原材料の重量比を剪定枝葉50 wt %、PE 50 wt %とし、ロールギャップを1.0 mm に設定して得られた成形物の厚さは、1.5～1.6 mm の範囲にあって安定した。このことから、ロールギャップを一定に設定することで、ほぼ同じ厚さの成形物を繰返し作製できると考えられる。実験における若干の厚さのばらつきは、複合体を手作業で切り出し、成形することに伴う作業ムラが原因の一つと推察されるため、切り出しおよび成形の方法を改善す

ることで、より寸法精度の高い成形物が安定的に作製できると考えられる。

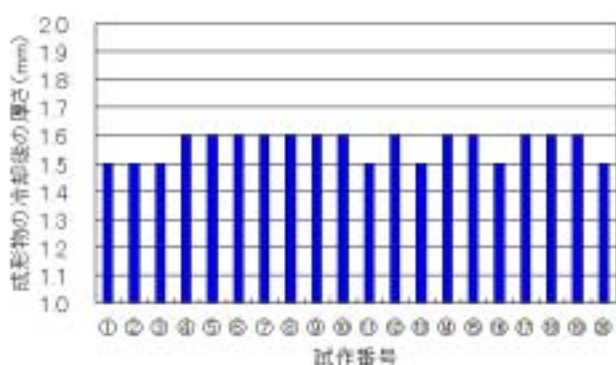


図 1 1 試作した成形物の冷却後の厚さ

3.3 複合体の物性測定・評価

3.3.1 密度、含水率、吸水率および吸水膨張率

原材料の重量比を変えた厚さ2 mm の複合体を4試料作製し、密度、含水率、吸水率、吸水膨張率を測定した。表6にそれらの結果を示す。各試料の物性値は3試験片の平均値であり、吸水膨張率については、ロールの回転方向に対して平行方向の値を左欄に、垂直方向の値を右欄に示す。

各試料の密度は、いずれも0.8 g/cm³前後であった。低密度PEの密度が0.914~0.925 g/cm³であることから、成形物の密度は低密度PE単体よりも小さいことがわかった。

含水率は、いずれも1.0 %前後であった。複合体の原材料には多量の水分を含む剪定枝葉を使用しているにもかかわらず、その成形物中には僅かな水分しか含まれていないことから、原材料の水分は加熱ロール上でほとんど蒸発することがわかった。

吸水率は、2.7~24.0 %であった。低密度PEの吸水率が0.015 %以下であることから、成形物の吸

水率は剪定枝葉の混入により高くなることがわかった。試料 と は、原材料を葉および業務用ポリ袋とし、原材料の重量比を変えたものである。試料 が吸水率2.7 %であるのに対して試料 が吸水率21.8 %であることから、葉の重量比が大きいほど成形物の吸水率は高くなると考えられる。試料 と は、剪定枝葉と業務用ポリ袋の重量比が等しいが、剪定枝葉の内訳が異なる。試料 は葉のみ、試料 は葉および細枝を原材料に含んでいる。両試料の吸水率は21.8 %および24.0 %でほぼ等しいことから、葉と細枝の配合の違いにより吸水率が大きく異なることは無いと考えられる。

各試料の吸水膨張率は、吸水率の場合と同様の傾向が見られた。試料 が0.1~0.2 %に対して、試料 ~ が1.3~2.9 %で10倍以上の数値になっており、剪定枝葉の重量比が大きいほど成形物の吸水率膨張率が高くなる考えられる。また、試料 と は剪定枝葉の内訳が異なっているが、両試料の吸水膨張率はほぼ等しいことから、葉と細枝の配合の違いにより吸水膨張率が大きく異なることは無いと考えられる。なお、吸水膨張率については、ロールの回転方向に対して平行方向と垂直方向で値が異なり、値は平行方向より垂直方向の方が大きくなった。これは、成形物中の木質の繊維方向（長手方向）が、ロールの回転作用によって、回転方向とほぼ平行方向に並んでいるためと推察される。

3.3.2 促進耐候性

表6に示す原材料の重量比で厚さ2 mm の複合体を4試料作製し、幅65×長さ145 mm の試験片を採取して促進耐候性試験を行った。図12に試験結果を示す。図中の記号1~4は試料 ~ を示し、Aは試験前、Bは暴露時間192時間後、Cは暴露384時

表 6 物性測定の結果

	原材料の重量比		密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	吸水率 (%)	吸水膨張率 (%)	
	剪定枝葉 (wt %)	PE (wt %)				平行方向	垂直方向
試料	葉のみ (15)	業務用ポリ袋 (85)	0.77	0.4	2.7	0.1	0.2
試料	葉のみ (50)	業務用ポリ袋 (50)	0.82	1.4	21.8	1.4	2.0
試料	葉および細枝 (50)	業務用ポリ袋 (50)	0.84	0.8	24.0	1.3	2.9
試料	葉および細枝 (50)	ゴミ袋 (50)	0.83	0.9	22.5	1.6	2.7

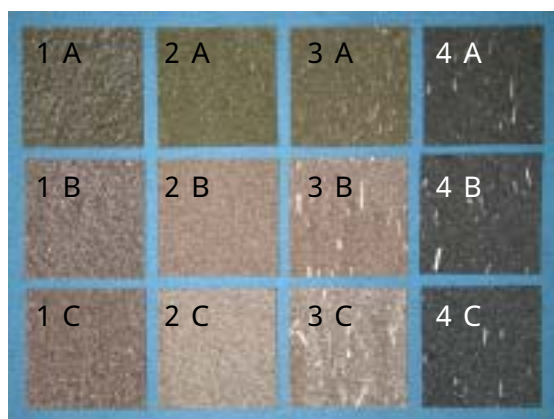


図 1.2 促進耐候性試験の結果

間後の試験片であることを示す。

試験前である1A～3Aの試験片は、原材料に透明な業務用ポリ袋を使用しているため、剪定枝葉に由来した鮮やかな濃緑色をしている。ところが、192時間暴露後の試験片は、1B～3Bに示すとおり大きく変化して枯れ葉色になった。また、384時間暴露後の試験片は、1C～3Cに示すとおり1B～3Bと比較して大きな違いは見受けられなかった。原材料に透明なPEを使用すれば、緑葉の原色が生きた色彩の成形物が得られる。その色彩は、光と水によって、やがては枯れ葉色に変化するが、一度枯れ葉色に変化してからは、以後、光と水による色の変化は小さいことがわかった。このことから、成形物を工業材料として利用する場合、屋内外における短時間の用途であれば、緑葉の原色を活かすことができると考えられる。また、屋内外における長時間の用途であれば、枯れ葉色に変化した後の成形物が活用できると考えられる。

一方、原材料に黒色のゴミ袋を使用した成形物は4Aに示すとおりゴミ袋と同様の色をしている。この試料を192時間および384時間暴露した後の試験片は、4Bおよび4Cに示すとおりであり、4Aと比較して色の変化がほとんど見受けられなかった。濃色の顔料を含んだPEを原材料に使用した複合体は、光と水による色の変化が小さいため、色むらや退色を長期間避けたい用途に活用できると考えられる。

なお、3Aおよび4Aは原材料に細枝を含んでおり、細枝が砕けた小木片が偏在している。暴露後192時間、384時間経過後の3B、4B、3C、4Cの試験片においては、これらの小木片が劣化し、白色化してい

る。3B、3Cの試験片に示されるように、特に透明なPEを使用した成形物では、光と水によって原材料全体が劣化することで、小木片の存在が目立つようになることがわかった。一方、1A、2Aのように細枝を原材料に含まない成形物においては、1B、2B、1C、2Cの試験片に示されるように、部分的に小木片の白色化は目立たなかった。加熱ロールの粉碎能力には限度があるため、もし、成形物中の粒子の緻密さを求めるのであれば、原材料を加熱ロールに投入する前に、原材料の粉碎処理を行うことが必要と考えられる。

3.3.3 引張強さ

剪定枝葉の重量比を0～51 wt %に変えた厚さ2 mmの複合体を4試料作製して、各試料5試験片の引張試験を行い、剪定枝葉の重量比と引張強さの関係調べた。表7に加熱ロールの回転方向に対して平行方向と垂直方向の引張強さ(平均値±標準偏差)を示す。

各試料の平均値は、平行方向、垂直方向ともに、剪定枝葉の重量比が大きくなるほど小さくなった。これは、剪定枝葉が親水性天然高分子であるのに対しPEが疎水性合成高分子であるため、界面の極性が非常に異なり、剪定枝葉とPEの接着性が悪いことが原因と考えられる。既存の木質・プラスチック複合化技術においては、木質とプラスチックの界面の接着性を向上させるため、ごく一般に、親水性と疎水性の両方の極性をもった相溶化剤と称される化学物質が使用されている⁽³⁾。加熱ロール機で得られる成形物を工業材料として利用する場合、強度が要求される用途であれば、既知の相溶化剤の活用など改質方法の研究がさらに必要である。一方、強度があまり要求されない用途であれば、剪定枝葉の重量比を減らして強度を保ち、用途に供することも可能と考えられる。

剪定枝葉の重量比が同じ場合の、平行方向と垂直方向の平均値を比較すると、平行方向より垂直方向の方が値が小さくなった。これは、成形物中の木質の繊維方向(長手方向)が平行方向に並んでいることに起因すると考えられ、剪定枝葉の重量比が増すほど、異方性は大きくなると推察される。

なお、各試料の平均値の標準偏差は、平行方向、垂直方向ともに、剪定枝葉の重量比が増すほど少し

ずつ大きくなっている。しかし、最もバラツキの大きい剪定枝葉51 wt %の場合でも、平均値に対するバラツキの程度は約8~9 %で5試験片の引張強さはほぼ等しい値となっており、得られる成形物は強度面においてもほぼ均一な材料であることがわかった。

表7 引張試験の結果

剪定枝葉の重量比 (wt %)	引張強さ (MPa)	
	平行方向	垂直方向
0	9.98 ± 0.04	9.88 ± 0.11
29	6.10 ± 0.07	5.34 ± 0.15
38	5.74 ± 0.21	4.60 ± 0.22
51	4.06 ± 0.31	2.76 ± 0.24

4. おわりに

本研究では、加熱ロールを用いた混練によって、未乾燥の剪定枝葉とPEを原材料とする木質・プラスチック複合体を試作し、成形可能な条件と試作した複合体の諸物性を調べ、製品化の可能性を検討した。

今回の試みは、原材料および加熱ロールの仕様を限定した検討にすぎないが、試験研究の結果、以下のことが明らかになった。

(1) 未乾燥の剪定枝葉とPEを、加熱ロールで20分間混練することにより、見かけ上均一な木質・プラスチック複合体を得ることができた。

(2) 複合体の厚さは、ロールギャップと原材料の重量比を変えることにより、1~4mmの範囲で調節可能であった。厚さが2mmまでの複合体であれば、剪定枝葉の重量比を50 wt %まで高めることができた。

(3) 剪定枝葉の重量比が大きいほど、複合体の吸水率および吸水膨張率は高くなった。複合体の光と水による外観の変化は、初期に著しいが、一定時間経過後は緩慢となった。引張強さは、剪定枝葉の重量比が大きいほど低下した。

剪定枝葉と透明なPEから得られる複合体は、従

来製品には無い色彩、触感、木質分に由来する香りを有しており、人に親しみと安らぎを与え得るような材料であった。また、剪定枝葉と黒色のPEから得られる複合体は、光や水の影響に伴う退色が少ない材料であった。これらの複合体は、厚さや強度をほぼ均一にして作製できるため、精度がそれほど要求されない土木建築資材などの分野に、何らかの用途が見出せるのではないかと期待している。なお、原材料に使用するPEについては、廃プラスチックの活用も可能と考えられる。未乾燥の剪定枝葉と廃プラスチックを複合化することで、両者を多段階的に利活用することができれば、資源循環型社会の構築に貢献できる。

今後は、剪定枝葉とPEを原材料に、防草シートを想定した複合体サンプルを作製し、防草の効果、耐候性、耐朽性などを調べる予定である。また、木質やプラスチックの種類を変えた複合体の試作・物性評価を行い、加熱ロールを用いて得られる複合体の製品化の可能性を更に追求していきたいと考えている。

参考文献

- (1) 岡本 忠：日本木材学会誌 Vol.49, No.6, 401 - 407, (2003) .
- (2) 日本木材加工技術協会関西支部：木材工業 Vol.60, No.8, 382 - 387, (2005) .
- (3) 原口隆英ほか：木質新素材ハンドブック, 62 - 67, 719-720, 技報堂出版(1996) .