

海外各国における木材プラスチック研究概況（2）

種田 健造

川上 英夫

この年（1966年）USAEC の季刊誌に Fuccillo,⁴²⁾

Green などの報文がみられるが、Greenは木材プラスチックについての技術的、経済的見解を載せ、この材料がより広い用途を見出していく方向として、原料コストの占める割合の低い製品、美観の重んぜられる製品、賦与された優れた物性が特に大きく寄与してくる製品などをあげ、生産規模と、投入資本およびコストの関係を下記のように推算している。

生産規模（ポンド/時間）	2500	1250	625
投下資本（ドル）	1,560,000	1,045,000	743,000
運転コスト（ドル/年）	676,000	478,000	391,000

またワシントン大学のBryantは木材の化学的な改質処理全般について、木材科学および経済性の見地か

ら比較検討を加えている。⁴⁴⁾ すなわちかさ効果を与える処理としてフェノール樹脂（Impreg, Compreg）、フルフリルアルコール、ジメチロール尿素およびポリエチレングリコール等による処理をあげ、セルロースの化学改質をねらった処理として無水酢酸、イソシアン酸フェニル、エチレンオキシド、エチレンイミン等の処理の説明を行ない、さらに木材充填効果をねらった処理として溶融合金の注入およびモノマーの注入重合をあげている。そして放射線重合材の実用化は、製品価格が高く、材料費の占める部分の少ない製品、例えば特殊な床材、椅子、家具およびスポーツ用具等に向けられようと結んでいる。

1967年西ニューヨーク核研究センターのCollinsらは注入材に照射する線の線量率が重合進行中に次第

に減衰していく線源を用いて実験を行なった。⁴⁵⁾ これは高線量率照射では線量の重合への効率が低く、しかも分子量が小さくなって製品の性質が低下し、また低線量率では重合に長時間を要し工業化に問題を残す等の点の改善をねらったもので、カエデを用いた場合、

Kent らの結果と比較して、²⁰⁾ 重合完結までに要する時間はそれぞれMMAで1/6、SANで1/15およびVAで1/12に短縮できることを示している。

1968年 Bernier らはカバを用い、含有水分、MMAなどが木材の動的機械的挙動に与える影響を90°K~475°Kの範囲で調べた結果、その挙動は残水分に極めて敏感であり、特に低温度において著しい、モノマー注入重合材は弾性係数が増加するとともに、動的機械的スペクトルの中にカバとPMMAが相加された形態を与えると説明している。またカーボランダム社の

Buell らは木材プラスチックのサンディングおよびその研磨材について調べた結果、熱可塑性のプラスチックを用いたサンプルでは完全なる失敗で、採用した注入法、重合法にかかわらず、すべて成功しなかった。耐水性の布ベルトを使った湿式サンディングは、送り速度の限界をよく守れば、熱可塑性の注入木材の粗サンディングや仕上げに使用可能であるとしている。また湿式サンディングで予備仕上げをした注入木材試片は、表面仕上げ材料を何も加えないで、軟皮を用いて金属性の光沢ある仕上に磨き上げることが出来る等のことを述べている。

本年に入ってルイジアナ大学の Barnes らは、揮発性化合物による木材内への浸透と重合処理により木材

の安定性を増大させる実験の報告を行なっている。⁴⁸⁾ その結果VCでは重合が進まず不成功に終わったが、エチレンオキシド蒸気はトリメチルアミンを触媒としてポリマー率5~20%程度の材を得、ASE30~55%（水蒸気）を得ている。材質は一定圧処理法では貧弱なものが多かったが、加圧減圧のくり返し処理では、化学的抵抗と寸度安定性が優れた超木材を構成するに至るとしている。

以上で現在までのアメリカにおける研究報文の紹介をほぼ終える。USAEC年報は資料が莫大で、一部割

愛せざるを得なかった。また、不本意ながら見逃している文献もあるように感ぜられる。綜説、ノートおよび記事などの類もその数が多く、そのため紹介を一部制限せざるを得なかった。さらに本稿締切り後もすでに数編の重要な文献を入手しているのも、もし機会があれば、これらを含めてアメリカにおける木材プラスチックについての紹介を今後も続けたいと思っている。

アメリカでの工業化については、さきにその一部を

⁴⁹⁾ 紹介したロッキード・ジョージア社およびアメリカン・ノーヴァウッド社のほかに、その後アトランティック・リッチフィールド社、ラディエーション・マシナリー社およびガンマー・プロセス社などで実現されてお

⁶⁰⁾ り、その売上高は順調に伸長しているといわれるが、その詳細な資料はまだ入手していない。

4. フィンランドにおける研究

フィンランドにおけるこの種の研究は1965年以降ヘルシンキ大学 Miettinen 教授を中心に進められている。同教授は10編以上に及ぶ多数の報文をこの3年程の間に発表しておりエネルギーな活動が感ぜられる。以下同教授の報文を中心に紹介を進める。

1967年 Miettinen は同国における木材プラスチック

⁵¹⁾ 研究の概要を発表した。それによると同大学放射線化学研究所には1964年に10kCiのコバルト60による線照射装置が設置され、1966年には木材20kgを処理できる20気圧の加圧注入装置が設置されており、フィンランド産樹種への注入やStとポリエステル(PE)の混合適性に関する研究がなされた。試作されたものは主に国立技術研究所と共同して行なわれる物性試験に供されるが、若干は工業的なテストおよび道具の柄などの原料ともしている。またこれらの研究は同国原子力委員会の認可により財源が与えられており、ここ1~2年で工業化への道が開けよう、とも述べている。民間会社では、ネスト社が加熱触媒法による研究を行っており、90~85%のStを含むモノマーを用いる研究を主としており、同社のTammelaらによ

⁵²⁾ る特許も知られている。

同年2月に発表された報文は、注入は広葉樹特にカバが良好であり、マツの辺材もよかったが、針葉樹の心材とアスペンは不完全、不均一な注入であったとし、PMMAを40%まで含む木材プラスチックを世に出しているアメリカで主に使用されているMMA、VAおよびSANなどのモノマーに対して、St-PEの注入重合によって、より好ましい結果が得られることを報じ、その重合性、製品の物理的強度を記述している。また放射線法と化学触媒法を比較検討し、建築、家具およびスポーツ用品業界における木材プラスチックの可能と思われる用途と推定生産コスト並びに年産1600トン

⁵⁴⁾ のパイロットプラントの概観が述べられている。

同年10月のヘルシンキ会議には二つの論文を提出し

⁵⁵⁾ た。その一つは木材プラスチックの現状を解説したもので、製造、性質、将来性および推定コストを広範に述べており、木材プラスチックの研究は殆んど全世界で研究が行なわれているが、半工業生産に達しているのはアメリカだけであること、広葉樹では結果はよく、マツなどでは辺材がよいこと、モノマーとしてはMMA、VAおよびSt-PEが最も多く用いられており、物理的強度は約2倍、耐摩耗性3倍、硬度5~8倍と強化され、寸度安定性と耐候性も向上するとしている。さらに触媒法と放射線法とは同等の製品が得られるが、放射線法は操作が煩雑でなく、大規模工程になると経済性が大きくなるが、触媒法は設備費が小さいとし、最も可能性のある用途として床材、パネル、家具表面、窓枠および装飾用が考えられようとしてい

⁵⁶⁾ ⁵³⁾ る。他の一つはその内容が次の論文に含まれているので一括に後述する。

同年11月タイのバンコクの木材プラスチック会議に

⁵³⁾ も二つの論文を提出している。その一つはカバ、ハンノキ、アスペンおよびマツの4種にMMAおよびSt-PEを注入した結果を詳述したものである。まず注入は20mmHg、30分 N₂で1気圧、5分 20mmHg、30分 モノマー脱気、15分 N₂により1~6気圧で注入、2~4時間 - となっており、カバ100%、マツ辺材150%の注入がなされ、重合は注入材を金属またはプラスチック容器にて、N₂雰囲気にして 線を照射

してなされている。0.01~0.1 Mrad/hrの線量率で、MMAは1~1.2 Mradで98%重合し、St-PE(1:1)では重合終結に0.9~1.1 Mradが必要としている。この線量はアメリカの報告よりもかなり小さいが、モノマー純度と雰囲気の違い等の理由と思われる。PEの含量が多くなれば重合は速くなり、St-PEの場合、0.5%以下の未硬化Stが残るが、触媒法では、この量は気乾材で3~4%、絶乾材で1~2%である。物理的性質としてはカバを用いた場合、寸度安定性はMMAで最も良好であり、10%のポリエチレングリコールを含むSt-PE(30%St)もほぼこれと同程度である、曲げ強さはMMA使用のものが小さく28%の増加であるのに対して、St-PEの場合は34~64%増加すること等を認めている。圧縮強さは何れも50~80%の増加が認められているが、樹種別検討ではカバおよびハンノキが最も良好な結果を与えており、特にハンノキは相対的な向上率がカバよりもすぐれ、天然の硬材と競合出来るとしている。アスペンおよびマツからのものの強度は一般にカバ、ハンノキからのものよりも低い

が、これは多分に注入の不均一なことによるものとし⁴⁾ている。その二は同会議そのものの内容や世界各国における実状を詳述したものであり、Miettinen自身の木材プラスチックに対する意欲を知る大論文である。

⁵⁷⁾翌1968年ウイーンで開かれた国際会議にも論文を提出

しているが、これはヘルシンキでの論文を加筆、訂正

したものであった。以上数編の論文の内容は一部またはほぼ全部が重複記述されているものである。Miettinenはまた昨年4月のアメリカ化学会で、St-PE系

の木材プラスチックについて発表している。ここでの

研究内容は前述の報告と同一であるが、その討論の中で、特にアメリカで盛んに使われているMMAとSt-PE(1:1)との比較にふれ、St-PEはMMAよりも35%安く、その製品は硬さが優れ、溶剤に対して安定であり、テーブルトップあるいは床材として利点が大

きい等を強調した。^{53, 56)}
⁶¹⁾以上数編にまたがる研究の結論が、彼の研究報告に総括され、その内容を5項目にわけてまとめている。すなわち、(1)モノマーの注入における樹種の影響では、アスペンは注入率は大きい表層に局部的に偏在する。マツ辺材は注入は良好であるが、心材は殆んど注入されない。また、アスペン心材も注入され難い。

カバは最も注入性にすぐれ、髓と節の周辺のみには僅か未注入部が残るに過ぎない、(2)不均一注入の影響は硬さ、引張り強さに最も大きく現われる、(3)曲げ、引張り、圧縮およびせん断などの強さは木材密度の影響をより大きく受ける傾向が大で、硬さは木材よりもポリマー保有にともなう密度増加により大きい影響を受ける、(4)プラスチック種類の影響は小さく、曲げクリープや耐摩耗性等の値からみると、MMAが強じんであると言えるし、PEは曲げおよび圧縮強さの値から硬いと言えるが、それらの差は標準偏差内に納まる、(5)製品の性質に与える樹種の影響はカバの場合が硬さ、せん断を除き最も良好である、ハンノキは接線方向のせん断、耐摩耗性にすぐれている、強さの増加率はハンノキで最も高く、カバで最も低い、アスペンの辺材も均一な注入がなされる場合は原料として良好である、マツは春材夏材の注入性が異なるので適当でない等である。

また、Miettinenは本年5月東京での第9回日本アイソトープ会議に来日し、これまでのフィンランド産4樹種についての結果に加えて、繊維板および単板へ

⁶⁰⁾のSt-PEによる表面処理について報告しており、これによるとボード表面にフタル酸-マレイン酸-1,2プロピレングリコール型不飽和ポリエステルと34%Stならびにシクロヘキサンパーオキシド3%とナフテン酸コバルト0.05%からなる粘性混合液を0.4mm厚さに塗り、20で約6~12時間変化して、硬く、光沢ある表面を得、これを6ヶ月間屋外(12月~5月、雪霜、雨、高湿、紫外線等)に暴露しても表面は何ら損傷を受けなかったこと、欠点としては、“eyes”と呼ばれる“ヘコミ”を生ずることであるが、拡がりがないので弱点と言える程でないことなどを報告している。

バンコクの会議にRotkirch(フィンランド動力・

⁵⁸⁾燃料経済局次長)も論文をよせている。これは木材プラスチックの経済性を検討したもので、種々の木質原料(製材、合板、繊維板およびチップボード等)を処理する際のコストは注入剤のコストが主要なものであって、硬化コストは全コストの10%台であり、従って今日では種々のボードへの表面処理または単板プラスチックの積層等が最も経済的に有利な方向であろうと述べている。

5. イギリスにおける研究

イギリスにおけるこの種の研究は本格的には1965年

頃から開始されたと思われる。⁶²⁾ 研究の大半は林産試験場 (FPRL) およびウォンテージ試験場 (WRL) が中心となり、両者の共同研究の形で行なわれている。⁶³⁾

FPRLのGibsonらはマツ辺材とカバにMMA (一部ジオキサン添加) を注入し、⁶⁴⁾ 線照射により重合させたものの強度、寸度安定性およびグラフト重合の

生否などについて調べた。⁶²⁾ これによると、ポリマー転化率が低い場合でもかなりの強度増加が認められ、水、水蒸気の透過速度はこの処理によって低下している。ASEはカバの場合、膨潤剤を使用しない方が高く、加水分解とその後のクロロホルム抽出から得られた生成物の赤外吸収スペクトルはPMMAが一部加水分解され、OH基吸収の由来が不明瞭になっている。しかしこれの続報とみられるLaidlawらの研究では、Stを用いてライム材について同様な実験

が行なわれてASEはMMA、Stとも膨潤剤を使用しない方が良好で、またメタノール、ジオキサン等の膨潤剤使用の場合には、StがMMAよりも高い、また、グラフト結合の存否を調べるために、St - 膨潤剤系で処理したものを粉碎して、加水分解、脱リグニン、抽出等の処理を行ない、ホモポリマーと枝ポリマーのフラクションに分け、赤外吸収スペクトルを測定し、ホモポリマーにはOH基の存在が認められないが、加水分解後の抽出ポリマーにOH基を含むことを認め、炭水化物 - St間のグラフト重合の可能性を示した。Laidlawはまた染色試験および触媒法による比較試験を行っており、その協力メーカーからはすでに家庭用刃物および肉用ナイフが市販されているほか、ドラムのバチの試作試験が行なわれ、ブラシ、爪バケ、航空機模型、Tおよび三角定規、工具の柄など特殊な小物の高級品に関心がむけられているが、ねらいは主役となる大用途を見出して木材プラスチックが普通の材料として一般に受け入れられるようになることであり、その道は困難ではあるが潜在的要素は充分にもっている。⁸⁰⁾

るとしている

WRLのDaltonは電子線による木材プラスチック

の製造について論じている。^{63, 65, 66)} 電子線による重合の場合、まず重合率は線量率の1/2乗に、また、分子量は

- 1/2乗に比例することを認め、電子線はその透過力が線に比べ著しく弱いために被射材料の厚さが限定されるという難点があるため、これまであまりその利用は考えられていなかったが、最近、塗膜の硬化に応用する研究が非常に多くみられるようになり、木材プラスチックの場合は、薄い単板プラスチックが照射対象になるとしている。約1.4MeVの電子線はモノマーを注入した単板中に約3.2mm透過し、25.4mm透

過させるには9MeVが必要であるという。⁶⁷⁾ 彼は電子線硬化における今後の問題点として、処理材料に適した装置の改良と線量率、照射量に適するモノマーある

いはプレポリマーの開発を挙げている。⁶⁸⁾

FPRL, WRL両者の研究により、1968年にはJoseph Rodger & Sons 社が初の商業ベースによる

ナイフ柄の製造を開始したようである。^{68, 69)}

6. その他の諸国における研究

(1) スウェーデン

スウェーデンの研究はStudevikで、自然科学研究局と原子力会社との共同研究として行なわれており、また林産試験場も材料の提供と強度試験を受け持つて

いる。⁴⁾

Studevikにおける研究はKinellを中心とするグループにより、マツ(心材と辺材)、スプルース、カバおよびブナにMMA、BMA、StおよびANの4種のモノマー(一部膨潤剤使用)を使用して行なわれており、含水率6%の材にMMAを注入し、70rad/secの線量率で照射した場合、重合完結までに要する線量はマツ辺材で1.3Mrad、マツ心材とブナで1.8Mrad、スプルースで2.0Mrad、カバで2.0Mrad以上であり、線量率を7rad/secにすると、必要線量は約1/2になり、またCCl₄の添加は初期重合速度を増すが、ゲル化段階で遅くなり、必要線量に変わりなく、ホモポリマーの分子量は低下する等の結果が得られている。⁷⁰⁾

また、このグループ内で研究した後藤田は注入液としてモノマー約50~70%の水乳濁液を使用し、放射線による乳化重合について興味深い結果を得、この概要

をバンコク会議で報告している。⁷¹⁾

(2) デンマーク

デンマーク原子力委員会、リーゼ研究所化学部門のSingerは30×30×15(L)の材にMMA, VA,

ANおよびSt等のモノマーを注入し、線(55rad/sec)および10MeVの電子線(5Mrad/sec)照射によ

る重合を行ない、両重合法の比較をした。⁷²⁾ 電子線重合による木材プラスチック関係のデータはこのほかには殆んど見当たらないと思われるので、これをやや詳細に紹介する。

実験には重合に与える因子として、照射量、樹種、照射温度、CC1₄添加、含水率等を取りあげている。まず、重合に必要な照射量は線の場合、VAでは1.5Mrad、MMAで3Mradであり、Stで10Mrad以上であるが、Stに40%ANを加えると、約5Mradで重合が終結する。一万、0 で電子線を照射した場合、10~15Mradの照射で、いずれのモノマーも30~50%程度の重合率であり、単位線量当りの重合率は線の方が約10倍も大きい。線の場合、樹種間で重合率に大きな差異はないが、電子線ではMMAでスプルス、マツ、ブナの順になり、VAでスプルス、ブナ、マツの順となる。照射温度の影響をスプルス-MMA系に電子線を10Mrad照射して調べた結果は照射温度25 でポリマー転化率60%、0 で45%、-78 で10%弱であった。また、10%のCC1₄を添加した場合マツ-St系、線照射で、約30%の重合率の増加であったが、スプルス-MMA系、電子線照射では、その効果はマイナスになり、10Mradで転化率が約45%から10%程に低下した。含水率の影響は顕著に認められ、スプルス、マツ、ブナについてMMAを用い、0 で電子線を照射して比較したところ、水分10~32%含有のものにスプルスで2.5倍、ブナで7倍の重合率の増加が認められている。

(3) 西ドイツ

ドイツでは木材プラスチックはBurmesterにより、またチップボードへのプラスチック注入はOrthに

よって研究されている。⁴⁾

Burmesterはまず木材プラスチックの現況につい

て、既往の研究、技術的問題を解説している。⁷³⁾ また彼はマツおよびブナにPE-St、ジイソシアネート、フォルマリンを注入し、線を照射して得られたものの木

ネジ保持力を調べ、その結果、ジイソシアネート処理のものが最も良く、PE-St、フォルマリンの順となる、樹種ではマツの方がブナよりも無処理材に対する増加率が高いとし、さらに前記同様処理を行なって得

られた複合体の絶乾、40、65、85、100% (各関係湿度) および飽水という含水率の異なった状態での圧縮

強さを測定した結果、⁷⁵⁾ ジイソシアネートでは含水率の増加にともない、強さにおよぼす影響が大きくなるがPE-St処理のものは絶乾、飽水状態を除いて変わらないと述べている。

OrthはスプルスのチップボードにSAN、VAおよびMMAを注入し、放射線およびH₂O₂-Fe²⁺のレドックス系による重合を行なって得た製品の曲げ強さは300%、引張り強さは1000%増大する、吸水試験では膨脹率は減少し、特にStの場合はそれが顕著である

との結果を得ている。⁷⁶⁾ また、Orthらは放射線法、加熱触媒法で得られた木材プラスチックを溶剤で抽出し分別したポリマーの分子量を浸透圧および粘度法で測

定して比較し、⁷⁷⁾ 分子量は放射線の方が、約2倍で、溶剤に不溶な架橋ポリマーも生成すると述べている。

(4) ハンガリー

プラスチック研究所のCzvikovszkyらの研究がバ

ンコク会議で報告されている。⁷⁸⁾ すなわち種々のモノマー系を使用し、ブナにSt-PEを55%注入したものは曲げ強さが15%増加する、マツは、VC-VA(80:20)で最も良い結果が得られ、曲げ強さは40%増加する、しかし衝撃強度はVC-VA系では改善されないこ

と等を報告している。⁷⁹⁾

(5) その他

以上のほか木材プラスチックの研究はベルギー、フランス、オランダ、イタリア、オーストリア、チェコスロバキア、台湾、フィリピンおよびインドなどで行なわれており、そのほか研究の予備的段階を終えてい

る国も少なくないようであるが紙面の都合によりその内容紹介は省略させていただく。⁴⁾

木材プラスチックは木材工業界のみならず、石油化学工業およびプラスチック工業各界において、新産業材料としての関心を高めている。わが国においては、基礎研究の域を出て、ようやく商品化の段階に入ったと言われているが、以上とりまとめた海外各国における研究概況が関係業界において木材プラスチックについての関心をより深め、将来の発展に役立つ糧となり得るならば筆者らの喜びとするところである。

[完]

文 献

- 42) Fuccillo, D.A., "Recent developments in the production of wood-plastic combinations", *Isotopes and Radiation Technology*, 3, 115-144 (Winter, 1965-1966)
- 43) Green, R.E., et al., "Technical and economic considerations for an irradiated wood-plastic material", *Isotopes and Radiation Technology*, 3, 131-146 (Winter, 1965-1966); "Proceeding of information meeting on irradiated wood-plastic materials", Report of Symposium by Oak Ridge National Lab., Tenn., held at Conrad Hilton Hotel, Chicago, Ill., Sept. 15 (1965), Apr. (1966)
- 44) Bryant, B.S., "The chemical modification of wood—From the point of view of wood science and economics", *For. Prod. J.*, 16, (2) 20 (1966)
- 45) Collins, C.H., C.C. Thomas, C.M. Hyche and J.A. Sondel, "Rates of Polymerization of monomers in maple and birch using a variable dose rate gamma source", *For. Prod. J.*, 17, (10) 52 (1967)
- 46) Bernier, G.A. and D.E. Kline, "Dynamic mechanical behavior of birch compared with methyl methacrylate impregnated birch from 90° K to 475° K", *For. Prod. J.*, 18, (4) 79 (1968)
- 47) Buell, H.W. and S.F. Stevens, "Rough and finish sanding of wood-plastic combinations with coated abrasives", *For. Prod. J.*, 18, (11) 23 (1968)
- 48) Barnes, H.M., E.T. Choong and R.C. McIlhenny, "Several vapor phase chemical treatments for dimensional stabilization", *For. Prod. J.*, 19, (3) 35 (1969)
- 49) 種田健造, "木材・プラスチック化合物(W.P.C)一主にアメリカにおける最近の発展一", 林産試月報および木材の研究と普及 (7) 7 (1967)
- 50) 末綱一郎, "化学工業における放射線利用を展望する", *MOL* 7, (8) 30 (1969)
- 51) Miettinen, J.K., "Research in Finland on wood plastic combinations", Synopsis of a lecture given at the Plastic Manufacturers Association Meeting, April 5 (1967)
- 52) Tammela, V., *Finish Pat. appl.* No. 548 (1967)
- 53) Miettinen, J.K., "Status and technology of impregnated fibrous materials in Finland", IAEA Panel, Bangkok, Nov. 20-24 (1967)
- 54) Miettinen, J.K., "Preparation of wood-plastic combinations by ionizing radiation", *Paperi ja Puu*, 49, (2) 51 (1967)
- 55) Miettinen, J.K., "Present status of research on wood-plastic combinations—a review", Panel on the application of radioisotopes in the pulp and paper industry, Helsinki, Oct. 9-13 (1967)
- 56) Miettinen, J.K. and A. Autio, "Test on physical strength of wood-plastic combinations", Panel on the application of radioisotopes in the pulp and paper industry, Helsinki, Oct. 9-13 (1967)
- 57) Miettinen, J.K., "Present status of research on wood-plastic combination—a review", *Radioisotopes in the pulp and paper industry*, IAEA Panel, Vienna (1968)
- 58) Rotkirch, E., "Impregnation of fibrous materials—Economy of various curing methods", *Paperi ja Puu*, 50, (4) 257 (1968)
- 59) Miettinen, J.K., "Production and properties of wood-plastic combinations based on polyester/styrene mixtures", ACS Meeting, Radiation Curing Section, Minneapolis (1969)
- 60) Miettinen, J.K. and T. Autio, "Upgrading of wood and fiberboard by impregnation on coating with polyester/styrene mixtures and curing either with radiation or with peroxides", The 9th Japan Conference on Radioisotopes, Tokyo (1969)
- 61) Miettinen, J.K., T. Autio, F.E. Siimes and T. Ollila, "Mechanical properties of wood-plastic combinations made of four Finish species by impregnation with methyl methacrylate or polyester and gamma polymerization", The State Institute for Technical Research, Finland, Publication No. 137 (1968)
- 62) Gibson, E.J., R.A. Laidlaw and G.A. Smith, "Dimensional stabilization of wood I. Impregnation with methyl methacrylate and subsequent polymerization by means of gamma radiation", *J. Appl. Chem.*, 16, 58 (1966)
- 63) Dalton, F.L., "Coatings and wood plastics", *The British Nuclear Energy Society*, 6, 301 (1967)
- 64) Laidlaw R.A., L.C. Pinion and G.A. Smith, "Dimensional stabilization of wood I. Grafting of vinyl polymers to wood components", *Holzforschung*, 21, (4) 97 (1967)
- 65) Dalton, F.L., "Radiation engineering in the polymerization of monomers in fibrous materials: Accelerators", IAEA Panel, Bangkok (1967)
- 66) Dalton, F.L. and J.D. McCann, "Radiation engineering in the polymerization of monomers in fibrous materials: Accelerators", IAEA Panel, Vienna (1968)
- 67) Trump, J.D., et al., *J. Appl. Phys.*, 19, 599 (1948)
- 68) Laidlaw, R.A., "Wood-plastic combination process", *Timber Trade Journal*, July 6, 34 (1968)
- 69) "Wood-plastic composite", *Wood*, 33, (8-9) 17 (1968)
- 70) Kinell, P.O. and P. Aaggard, "Status and technology of polymer containing fibrous materials in Western Europe with special reference to Sweden", IAEA Panel, Bangkok (1967)
- 71) Gotoda, M., "Emulsion graft polymerization to wood by gamma radiation", IAEA Panel, Bangkok (1967)
- 72) Singer, K.A.J., "Wood plastic combinations prepared by irradiation with gamma rays and high energy electrons", *AKADÉMIAI KIADÓ*, Budapest (1967)
- 73) Burmester, A., "Gegenwärtiger Stand der Kenntnisse über Polymerholz", *Holz-Zentralblatt*, 93, 1191 (1967)
- 74) Burmeser, A., "Besseres Schraubenhaltevermögen von Holz durch verwendung von Kunststoffmonomeren", *Holz-Zentralblatt*, 92, 1791 (1966)
- 75) Burmester, A., "Abhängigkeit der Druckfestigkeit Kunststoffvergüteten Holzes von der Holzfeuchtigkeit", *Holz als Roh- und Werkstoff*, 25, (3) 85 (1967)
- 76) Orth, H., "Neue Versuche mit Holz-Kunststoff-Kombinationen", *Holz-Zentralblatt*, 92, 2592 (1966)
- 77) Orth, H., H.D. Mayer, G. Neumeister, M. Rast and H. Schmid, "Untersuchungen an Holz-Kunststoff-Kombinationen", *Holzforschung*, 21, (6) 160 (1967)
- 78) Czikovszky, V. and J. Dobo, "The status of the wood plastic combination research in Europe", IAEA Panel, Bangkok (1967)
- 79) Czikovszky, V., "Wood-plastic combination. By monomer impregnation and radiation polymerization" Report of The Plastic Research Institute, No. 8, (1967)
- 80) "Advances in a new material—wood plastic composite", Supplement to *Timber Trade Journal*, *Timberlab News* No. 1, May (1969)