

# 海外各国における木材プラスチック研究概況(1)

種田 健造 川上 英夫

わが国における木材プラスチック関係の研究は、最近著しく盛んとなり、また企業化を旨とする民間業者も多数に及んでいる。材料革命時代の一翼を担う新しい材料として、その評価は日毎に高まっており、現に一部市販品の部品材料中にみられるようになっている。これは、木材プラスチックが持つ優れた性質、すなわち、寸度安有性が高く、耐摩耗性に富み、圧縮強さ、せん断強さ、静的曲げ強さ等が何れも大きく、耐湿、耐水、耐朽性をもっているほか、染料の有効な活用によって木材美を強調できる等の特長をもっているからで、近い将来、本格的な発展をもたらすものと予測できる。

筆者らは道産材を使って木材プラスチック製造の研究を昭和40半以来続けてきたが、そのためにとりよせた海外からの資料に基いて、本研究が始められてからの海外各国における研究状況を概括説明することにした。資料の量が膨大で、一つ一つの研究を詳細に説明することは出来ないが、多数の文献を紹介していくので、関心の深い向きは原文に当たって調査するようおすすめする。

第二次大戦後、急速に広まった原子力の平和的有効利用開発思想の一環として、放射線によるグラフト重合が考えられ、ゴム、プラスチック、繊維および塗料等の諸分野で、既存材料の改質や新材料の出現を期待する研究が進められた。このような背景をもつ時代にあつて、木材学者が木材改質に原子力エネルギーの活用を意を向けるのは、いわば時代の流れとでも言い得ることと思われるが、その発端はソ連に起った。

## 1. ソ連における研究

1959年に公表された“発明公報, No.17号に“針葉樹材の処理法, と題する Freidin らの記述が掲載さ

<sup>1)</sup> された。それは、木材の機械的性質を向上させる目的をもって、木材をモノマーに浸漬し、(ガンマー)線または加速電子線をもって照射重合させることを内容としており、スチレン(St)を用い、木材中に50%浸透させて、コバルト60による線を15Mrad照射し、次のような材質改良がなされたことを報じている。

	圧縮強さ (kg/cm <sup>2</sup> )	曲げ強さ (kg/cm <sup>2</sup> )	吸湿性 (%)	容積変化 (%)	吸水率 (%)
処理前	395	845	21	15	148
処理後	825	1200	9	6.9	24

この記述は申告が1958年4月7日で、後述するアメ

<sup>12)</sup> リカの Kenaga の特許出願は同年2月5日である。し

かし、木材プラスチック関連の公表された研究としては、この Freidin らの発明が最初である。その後、

<sup>2)</sup> 1960年に Karpov らの報告と全ソ放射線化学討論会に

<sup>3)</sup> おける Krasnoviskaya の発表が行なわれている。Karpov らの報告は前の発明記述とほぼ同様な内容のもので、データの詳細を公にしたものではないが、木材・ポリスチレン(PSt)の場合の吸湿、吸水率および圧縮、曲げ強さの図表を示し、改良される性質として、化学抵抗性、耐火性、耐朽性、強度および寸度安定性の増加と吸水性の減少および誘電定数などをあげている。曲げ強さよりも圧縮強さの強化率が大きい。その理由として、木材成分中、リグニンが最も放射線に対する抵抗性が高いからであると説明している。この発表は研究論文というよりはむしろ技術紹介の記事であるが、1961年以降ソ連からはこの種の技術に関しては全く発表がなされていない。しかし、Karpov 物理化学研究所を中心として木材プラスチックの研究は著しく進歩しているようであり、0.5t/day

<sup>4)</sup> の試験工場が既に完成しているとも報じられている。

## 2. カナダにおける研究

1961年、ハミルトン市のマックマスタ大学 Hodgins 教授指導の下に Ramalingam の修士論文が提出され

<sup>5)</sup> ている。彼らの研究は特にグラフト重合に重点が置か

れ1963年には放射線により木材中に生起するラジカルのESRによる測定、膨潤性溶剤を含んだ重合性モノマー液の最適組成、製品の強度増加、吸出、吸水性な

6) だが調べられた。この研究は Werezak によって引継

7) がれ、Rossの研究をもって終結しているが、これら一連の研究で、同大学は木材中での放射線グラフト重合の利点は遂に認められぬものとする否定的な結末を

9) もったものと解される。1965年、Tolesは同大学での研究内容を紹介する記事のなかで、木材中の細胞空隙を単にポリマーで充填するだけのことなら、放射線を使用する技術には疑問が残ると述べたが、Ross はそ

10) の翌年発表した木材プラスチックについての綜説で、木材中でグラフト重合を起そうとすれば、木材の膨潤が必要であり、それが木材の強度を低下させるので、木材中に単にホモ重合物を充填した触媒法の製品に何ら優る点はなく、放射線法は設備費、操業費等の点でコスト高となるから得策ではなく、むしろ触媒加熱法をより徹底的に研究することの方が望ましいと強調している。この綜説の後、カナダからこの種の研究発表は見当らず、研究打ち切りになったものとみられる。木材プラスチックに対する一つの態度として我々木材プラスチック関係技術者の見落してはならぬ点と思われる。

### 3. アメリカにおける研究

アメリカにおけるこの種の研究は、1961年、ウエストバージニア大学 Kent 教授の下に提出されたHar-

11) mison 氏の修士論文が最初で、その後例によって絢爛、多彩を極めていと言えよう。ダウケミカル社のKenaga 氏が木材膨潤 - モノマー注入 - 放射線照射を

12) 内容とする特許を取得したのは1963年2月であったが、出願は前述の如くソ連の関連特許よりも2ヶ月程早くなされている点が注目される。

#### 3.1 J.A.Kent らの研究

アメリカ原子力委員会 (USAEC) の年報にみられる木材プラスチックの研究はウエストバージニア大学

13) のKent氏らの報告が最初である。Kent らの放射線木材プラスチックの研究は、現存に至るまでも続けられており、アメリカにおけるこの分野の研究の主流を

なすものと認められるので、まず彼等の業績紹介から始めることとする。

その初期の研究は、樹種およびモノマーの組合せによる重合特性の解明と四塩化炭素 (CCl<sub>4</sub>) の重合促進効果および製品の主要な物理的性質の試験結果を主

13,14,15,16,17,18) な内容としている。使用した樹種はシュガー・メープル<sup>14,17,18)</sup>; マツ, ホワイト・オーク, カバ; レッド・オー

ク, ポプラ, ブナ, スプルースおよびハード・メープル<sup>17)</sup>等で、モノマーは主にスチレン (St), メタクリル酸メチル (MMA), 酢酸ビニル (VA) およびこれらのコモナーである。またアクリル酸メチル, アクリル酸ブチルも用いているが、これらは重合速度が大き過ぎて木材に割れが生じやすく適当でないとい

14) る。VAはレッド・ウッド, ホワイト・パイン, スプルース中で、MMAはレッド・ウッド中でそれぞれ重合阻害を受けるが、他は樹種による重合速度の差異は

17,18) 少ないようである。

線源はコバルト60が使用され、線量率は $1 \times 10^4 \sim 1.3 \times 10^5 \text{ rad/hr}$ の範囲で使用された。MMAは3~4

18) Mrad, VAは0.7Mradでそれぞれほぼ重合を終了する

14) が精製モノマーの重合速度はMMAは大きくなり、VA

18) は小さくなる。またVAは空気に触れると重合しずら

17) くなり、Stは重合の終結までに要する線量が多く、ともにそのままでは放射線法木材プラスチック用モノマーとしては適切ではないと解される。MMAに開始剤、促進剤等を添加して 線を照射するいわゆる併用法もここで既に試みられており、重合の遅れがちなホワイト・パイン中での促進効果が明らかにされている。CCl<sub>4</sub>による促進効果は大きく、添加率10%でStは約

17,18) 2倍、MMAは約5倍の重合速度定数となる。得られた木材プラスチックの物性としては、硬さ、圧縮、曲げ、せん断等の強さ、吸水量および寸度変化等が測定

14,17,18) された。これらの物性はすべて改良されているが、飛躍的なものではなく、50%ポリマー率のもので、硬さ2~4倍、曲げ1.4倍、圧縮1.4~2.3倍、せん断1.4~1.9倍、吸水量1/2~1/4、寸度変化率0.7~0.6倍等

14,17,18) となっている。寸度安定性は注入モノマーによる違い

18) が大きく現われている。

1965年は次に述べる Meyer 一派の開始剤による研究発表の始められた年であるが、Kent は放射線による製法の研究成果についての詳細な解説記事をよせ、

6回に分けて業界向けに発表している。この年 Kent

らがUSAEC年報によせた報告によると、まずアクリロニトリル (AN) とStとがSt 50~60%の範囲で良好なモノマー (SAN) を形成し、木材プラスチックに適合していることを次のように述べている。1) StもANもMMAより安い、2) St単独では重合に線量を多く要する、3) AN単独では粉状の不連続製品となる、4) SANは重合が容易で、1~2Mradで重合をほぼ完結し、強じて吸湿、吸水性の低い優れた木材プラスチックが得られる。

次いで塩化ビニル (VC) の放射線重合について、VC も単独では不均質な粉状ポリマーとなるが、可塑剤や他のモノマー添加により、良好な木材プラスチックを調製でき、低沸点のVC照射に適当な技術が発展すれば、木材プラスチックの企業化において適当なモノマーとなり得ることを報じている。そのほか木材中の重合の線量率依存度をMMA、SANおよびVAIについて、シュガー・メープル、カバ、イエロー・ポプラおよびホワイト・パインで調べ、またアクリレート類のモノマーをカエデに注入して照射重合すると割れが発生するが窒素雰囲気で行えばこれを防止できること、CC14のMMA重合における促進効果のやや詳細な検討等が明らかにされ、最後にカラー木材プラスチック用染料について、MMA適性カラーリストを示し、重合禁止作用は強いものではないこと、アゾ型色素がアンスラキノン型よりやや重合阻害作用が強いこと、カラーをVAIに添加すると禁止作用が強くなること等を明らかにしている。Kentの弟子 Harmison はこの年、

照射木材プラスチックについて綜説を発表している。<sup>21)</sup> 1966年、Kent らはロブローリ、パインとホワイト・パインの辺材を用い、MMAの色々な注入法を検討し

ている。<sup>22)</sup> すなわち、全細胞注入、均一な部分的注入、外周部のみへの注入等で、材内各部のポリマー含量を求めて検討を加えている。

1967~8年の Kent らの USAEC 年報は木材プラスチックの接合および接着について、同材料が釘打性の

劣ることから、種々のねじ型留め具がテストされ、<sup>23)</sup> これらの適性が明らかにされるとともに、接着剤につい

ては、<sup>23 24)</sup> レゾルシノールフェノール系が最もよく、そ

の接着力は木材の場合に較べ何ら劣らないと報じ、次いで PVA およびカゼイン系接着剤が優れているが、これはポリマー率上昇とともに次第に低下していく、尿素系接着剤は適していないことなどを明らかにしている。また木材の場合よりも水分含量の低い接着剤を使用すると優れた結果が得られるが、これは接着層からの水分の拡散が樹脂の硬化と見合う割合で進行することが理想とされる一般接着法の技術的原則に適合するためと説明されている。

Loos らによる木材プラスチックの水分測定に關す

<sup>25)</sup> る報告では、80 °Cでの真空乾燥法によって得た値が、カールフィッシャー法によるそれとよく一致することを明らかにし、また水分の分布について、重合中、材の水分は中央付近から両端に押しやられ、このため含湿試料の場合、試片両端部が大きく膨潤する原因となっていると説明している。

### 3.2 J.A.Meyer らの研究

放射線のKent一派に対し、シラキース林科大学の Meyer 一派は加熱触媒法に主眼を置いて多彩な研究を続けている。1965年、Siau らはそれまでの放射線照射重合木材に関する文献を整理し、放射線重合、セルロースおよび木材への放射線の影響、セルロースへのグラフト重合、木材安定化等について綜説を発表し

ている。<sup>26)</sup> 続いて Meyer はMMAに0.2%の過酸化ベンゾイル (BPO) を添加してイエロー・パーチ辺材に注入し、オープン中で68 °Cに24時間、高周波加熱で68 °Cに12時間それぞれ重合して木材プラスチックを合成したことを発表し、縦圧縮強さ、硬さを測定して、加熱および放射線等の重合処理法による物性の違いは殆ん

ど認められないと報じている。<sup>27)</sup> 次いでSiau らはシュガー・メープルおよびイエロー・ポプラを使って種々の極性溶媒すなわちジメチルスルホキシド、ジオキサン、水、ジメチルホルムアミド、メタノール、モノエタノールアミン、液安、40%ホルムアルデヒド酢酸、アセトン、ジエチレングリコールおよびエタノール等の一、二種にて予め膨潤させ、溶媒置換法によりStに置換して放射線1.9~11.1Mradで重合させ、

<sup>28)</sup> ASEおよび横引張り強さを調べている。重合が円滑に進んだ生成物は、グラフト率30~60%でASE60~90%の範囲に存在するものが多く、ジエチレングリコール使用のものは最高92%のASEを示した。横引張り強さはポリマー含量200%までに約2倍となる割合で

上昇するものが多かったが、エタノールで膨潤したものは、これらよりかけはなれた大きい向上率を示しているのが注目される。またヤング率と引張り強さはほぼ直線関係を示すことを明らかにしている。

1966年に入って、彼等は加熱触媒法と放射線法のよ

り詳細な物性比較の検討結果を発表している。<sup>29)</sup> すなわち、イエロー・パーチの辺材を使ってMMAを注入し、線を3Mradおよび10Mrad照射したものと、0.2% BPOを添加して68 で加熱重合したものと、無処理材とそれと同様の照射処理だけをしたものの計6種について、縦圧縮強さ、せん断強さ、通気性、拡散係数、硬さおよび ASE を比較した。それによると、ポリマー率およそ75%の木材プラスチックの縦圧縮は材の約4倍となる、せん断強さの増加率は低く約5%、通気性は1/9に減少する、拡散係数は1/27に減少する、硬さは4~5倍でASEは平均12.6%となっている。放射線による材の強度劣化は認められず、両法による差違に重大なものは認められなかったが、ただ硬さは放射線法のものの方が25%大きく、これは加熱法でモノマーが材表面から一部蒸発する結果によるとしている。

彼等はまた高周波加熱による木材プラスチック製造

過程における発熱挙動を調べた。<sup>29)</sup> 通常加熱法の約1/5の時間で発熱ピークの出現すること、重合率は加熱法66%に対し51%にとどまる等のことを明らかにしている。

この年Meyerは加熱触媒法の記事を業界紙に載せ、

積極的なPR活動を行なっている。<sup>31)</sup> この中で注入、加熱、触媒等の製造法に関する諸条件のやや詳細な記述とともに、各薬品の取扱注意事項、装置の型式とその管理上の問題、得られた木材プラスチックの加工法、工具、釘打ちに代る接合法等の解説も行なっている。

1968年、Young らは8樹種の心材と辺材の注入、

重合をMMAを用いて比較検討した。<sup>32)</sup> 使用した樹種はレッド・メイプル、シュガー・メイプル、ブラック・チェリー、バスウッド、イエロー・パーチ、レッド・ガム、レッド・パインおよびブナで、材中の空隙率は心材の方が僅か(0~4%)低い、ポリマー充填率も一般に心材の方がやゝ低い、バスウッドは心材とともによく注入され、レッド・パインは心材での注入が著しく低くなっている。Vazo (アゾビスイソプロチロニトリル=AIBNのDuPont社製品)を使って熱量合した場合、密度の上昇はバスウッドが最高で2.7倍であるが、横圧縮強さはレッド・パイン辺材が最高で7.4

倍になっている。硬さはバスウッドとレッド・パイン辺材が5~6倍でよく、通気性はおよそ1/100~1/300となる等を明らかにしている。

続いてMeyerは木材プラスチックをサンディング仕上げするときに摩擦熱のためにポリマーが軟化し、サンドペーパーに荷重がかゝり、使用できなくなることがあるので、注入前のMMAモノマーに架橋剤として1.3-butylene dimethacrylateを1%添加すると、プラスチックは分解点に至るまで軟化しないようになり、木材と同じように作業のできることを明らかにし

ている。<sup>33)</sup> また、Langwigらば注入の良好なバスウッドPMMAについて曲げおよび圧縮強さの荷重-たわみ曲線および荷重変形曲線を示し、比重0.37の材から比重1.00の木材プラスチックとした場合に、材を100として各強度特性値は次のように変化し、またタフネス

は150となることを示した。<sup>34)</sup>

	弾性係数	比例限度力	破壊係数	比例限度仕事量	最大荷重
曲げ強さ	125	181	178	254	177
縦圧縮強さ	148	176	151	190	—

### 3.3 その他での研究

以上のKent, Meyer 両派以外の大学、民間企業および研究所などから発表されている報文も少なくない。とくに民間の機関から発表されたデータは実用面で重要なものが多い。その主要なものについて概要を紹介していく。

1963年、前述の如く、Kenagaが<sup>12)</sup>4特許を取得しているが、その内容は、およそ次のようなものである。木材を予め適当な膨潤剤によって処理する。次いで重合性のモノマー例えばアクリル化合物(エチルアクリレート、メチルアクリレート、アクリル酸およびアクリルアミドなど)、St, AN, ジクロルスチレン、ビニル-フェニル酢酸、ビニルフェニルアセトニトリルまたはエポキシ化合物などを注入し、続いて放射線を照射し重合すること。

1964年、Arthur D. Little 社は Kent, Air Reduction 社およびマジソンの林産試験場等のデータをまとめ、自らの判断のもとに放射線重合の木材プラスチックについて、技術面、経済面より実用化に関する問

題を解明した論文を発表した。<sup>35)</sup> この報文は山名氏の抄

訳が公表されている。<sup>36)</sup> 用途としては建設関係でモザイ

クフローリング、ボーリング場のアレー、体操場の床面等床材のほか、各種集会所座席、窓わく、外面ドア、階段、カウンター台など外部材料、家具、スポーツ用具、玩具類等の部品すなわち机、合板、陳列棚、ボート部材、ゴルフクラブヘッド、銃床、刃物の柄、サラダ入れの腕などが示されている。

1966年、バッファローの西ニューヨーク核研究センターは、木材プラスチックプロセスの米北東部諸州における工業化についての問題を検討し<sup>37)</sup>、その結果、これら諸州は木工製品の産額が多く、このうち木材プラスチックを用いるのに特に適するものと考えられるのは、硬木のフローリング、工業用木型、形削品、旋削品そのほか家具類などとし、立地条件の適地として南東および北西ペンシルバニア、南東および南西ニューヨーク、北部ニュージャージーなどを指し、ほかにも適地のあること、工業化に当って必要な具体的な処置、加工設備の設置可能な地域などを論じている。

ワシントン州立大 Raff<sup>38)</sup>らの研究は、架橋剤添加の効果を求めたものである。すなわちホワイト・パインにStを注入する際に架橋剤としてジビニルベンゼン5%程度、膨潤剤としてメタノールおよび水を添加して、 $\gamma$ 線を6 Mrad 照射して重合した場合、重合はこれらの添加により若干促進される。膨潤剤は木材プラスチックの吸水量を多くするが、架橋剤はそれを少なくする等を明らかにしている。

1966年には、USAEC から4冊の木材プラスチックに関する部厚い年報が発表されている。その一は既述の Kent<sup>22)</sup>らの報告であるが、その二は米南部州際核会議で編集されたものである<sup>39)</sup>。これは南部17州には木材プラスチックを使用する見込みのある関係工場が2000以上もあり、 $\gamma$ 線照射木材プラスチック製造プラントの立地条件に適っている地域の多いことを強調するとともに、野球バット、競技用棒、各種の家具、合板、窓わく、ギター、各種木工製品等、プロセスを企業化できそうな品目71種を研究している。また、本報はキュアリングなどの技術的問題のほか、経済的側面、AEC計画、必要とする生産設備能力、工業用品やスポーツ用品の評価、製品や市場についての解説まで行なっている。その三は太平洋北西部地域と大湖地域での木材プラスチック工業化を論じた報告で、大量生産に移った場合の販売価格は1ボードフット当り2.1~2.6ドル位と結論している。研究は同地域の硬軟両材

について行なわれ、モノマーの経済的問題や工場立地の問題に触れるとともに、合板その他の成形品にこのプロセスを応用する問題、耐火性を与える問題、木材内セルロース架橋やグラフト重合を与えるための研究の重要性などが論じられている。その四は、ヴィトロ工業社により編集された大論文<sup>41)</sup>で、これは木材プラスチックに大きな市場の予測できることを指摘し、半工業的規模のパイロットプラントを設置し、特定製品について、市場開拓を積極的にすすめるに足る基礎的データはすべて得られていることを述べている。毎時3000ポンドあるいは4×8フィート以上の製品を生産するプラントでの製品コストは、木材を1ボードフット当り35セントとして95セント(マーケット費用と利潤を含まず)となる。また、VA、SAN等のモノマーを使うと、発熱の制御が困難となるので、MMAが適しているとしている。上記プラントの設備資金は1,160,000ドル、コバルト60を用いるための線源設備資金は704,000ドル、また年間操業費は830,650ドルであるという。(以下次号に続く)

## 文 献

- 1) Freidin, A.S., Y.M. Malinsky, V.L. Karpov and N.T. Romanov, "The treating method of woods of coniferous tree", Description of invention on author's certificate (Patent), Filed April 7, (1958), Issued in "bulletin of invention" No. 17 in 1959
- 2) Karpov, V.L., Y.M. Malinsky, V.I. Serenkov, R.S. Klimanova and A.S. Freidin, "Radiation makes better wood and copolymers" Nucleonics, 18, (3) 88 (1960)
- 3) Krasnovitskaya, T.I., Report of the second symposium in all USSR on radioisotope chemistry, pp 511-515 (1960)
- 4) Miettinen, J.K., "Impregnation of fibrous material—Research and technology today", Paperi ja Puu, 50, (2) 67 (1968); IAEA Panel, Bangkok (1967)
- 5) Ramalingam, K.V., "Enhancement of properties of wood by gamma-induced graft polymerization", M.Sc. Thesis, McMaster Univ. (1961)
- 6) Ramalingam, K.V., G.N. Werezak and J.W. Hodgins, "Radiation-induced graft polymerization of styrene in wood", J. Poly. Sci., part C, (2) 153 (1963)
- 7) Werezak, G.N., "Radiation-induced graft copolymerization in wood", M. Eng. Thesis, McMaster Univ. (1963)
- 8) Ross, S.L., "Wood-polymer combinations—Some fundamental consideration" M. Eng. Thesis, McMaster Univ. (1965)
- 9) Toles, G.E., "Canadian scientists irradiate wood and test improved qualities", Woodworking Digest, 67, (4) 33 (1965)
- 10) Ross, S.L. and J.W. Hodgins, "Irradiated wood-polymer combinations", Isotopes and

- Radiation Technology, 3, (3) 236 (Spring, 1966)
- 11) Harmison, L.T., "Gamma irradiation of wood—Development of wood plastic combinations", Master Thesis, West Virginia Univ., May 2 (1961)
  - 12) Kenaga, D.L., "Stabilization of wood and wood products with acrylic-like compounds", U.S.P. 3077417; "Stabilization of wood products with styrene acrylonitrile, bis(2-chloroethyl)vinyl phosphonate", U.S.P. 3077418; "Stabilization of wood and wood products with vinyl compounds", U.S.P. 3077419; "Stabilization of wood and wood products with epoxy compounds", U.S.P. 3077420; Feb. 12 (1963)
  - 13) Kent, J.A., A. Winston and W.R. Boyle, "Preparation of wood-plastic combinations using gamma radiation to induce polymerization; Effects of gamma radiation on wood", USAEC Annual Report, ORO-600 Nov. 1, 1961-Oct. 31, 1962; West Virginia Univ., March. 1 (1963)
  - 14) Kent, J.A., A. Winston, W.R. Boyle and L.W. Harmison, "Preparation of wood-plastic combinations using gamma radiation to induce polymerization" USAEC Annual Report, TID-7643, 335 (1962)
  - 15) Kent, J.A., Transactions of American Nuclear Society, 5, (2) 294 (1962)
  - 16) Kent, J.A., A. Winston and W.R. Boyle, "Preparation of wood-plastic combinations Using gamma radiation to induce polymerization", USAEC Annual Report, ORO-612, West Virginia Univ., Sept. 1, (1963)
  - 17) Kent, J.A., A. Winston, W.R. Boyle and L. Updyke, "Manufacture of wood-plastic combinations by use of gamma radiation", Industrial Uses of Large Radiation Sources, 1, 377 (1963); (Vienna: International Atomic Energy Agency, Salzburg Conference.)
  - 18) Kent, J.A., A. Winston and W.R. Boyle, "Report from a paper by D.S. Ballantine; Use of gamma radiation to produce wood-plastic combinations", Isotopes Radiation Technology, 1, (2) 189 (Winter, 1963-1964)
  - 19) Kent, J.A. and N. Nash, "Gamma ray open magic doors to new industry, wood enters the atomic age", Woodworking Digest, 67, (1) 31; (2) 42; (4) 32; (5) 47; (7) 35; (8) 21 (1965)
  - 20) Kent, J.A., A. Winston, W.R. Boyle, W.E. Loos and J.E. Ayres, "Preparation of wood-plastic combinations using gamma radiation to induce polymerization", USAEC Annual Report, ORO-628, West Virginia Univ., May 14 (1965)
  - 21) Harmison, L.T., "Status of irradiated wood plastic materials", Nuclear News, (11) 29 (1965)
  - 22) Kent, J.A., W.E. Loos, W.R. Walters, W.R. Boyle, G.W. Taylor and A.W. Winston, "Preparation of wood-plastic combination using gamma radiation to induce polymerization" USAEC Annual Report, ORO-2945-4, April 1 (1966); Loos, W.E., R. E. Walters and J.A. Kent, "Impregnation of wood with vinyl monomers", For. Prod. J., 17, (5) 40 (1967)
  - 23) Loos, W.E. and J.A. Kent, "Fastening of wood-plastic combination", USAEC Annual Report, ORO-2945-9, Sept. 1 (1967)
  - 24) Loos, W.E. and J.A. Kent, "Performance of some commercial adhesives for gluing wood-plastic combinations", For. Prod. J., 18, (3) 23 (1968)
  - 25) Loos, W.E. and G.L. Robinson, "Techniques for determining moisture in wood-plastic combinations", For. Prod. J., 18 (11) 36 (1968)
  - 26) Siau, J.F., J.A. Meyer and C. Skaar, "A review of development in dimensional stabilization of wood using radiation techniques", For. Prod. J., 15, (4) 162 (1965)
  - 27) Meyer, J.A., "Treatment of wood-polymer systems using catalyst-heat techniques", For. Prod. J., 15, (9) 362 (1965)
  - 28) Siau, J.F., J.A. Meyer and C. Skaar, "Wood-polymer combinations using radiation techniques", For. Prod. J., 15, (10) 426 (1965)
  - 29) Siau, J.F. and J.A. Meyer, "Comparison of the properties of heat and radiation cured wood-polymer combinations", For. Prod. J., 16, (8) 47 (1966)
  - 30) Beall, F.C., J.A. Meyer and C. Skaar, "Direct and RF heat curing of wood-plastic composites", For. Prod. J., 16, (9) 49 (1966)
  - 31) Meyer, J.A., "Make wood-plastic combination materials in your plant", Woodworking Digest, 68, (15) 35 (1966); "Procedure for making wood-plastic materials using catalyst-heat techniques", Special Publication by College of Forestry for Circulation to Schools, Colleges and Industry Circulation (1963)
  - 32) Young, R.A. and J.A. Meyer, "Heartwood and sapwood impregnations with vinyl monomers", For. Prod. J., 18, (4) 66 (1968)
  - 33) Meyer, J.A., "Crosslinking affects sanding properties of wood-plastic", For. Prod. J., 18, (5) 89 (1968)
  - 34) Langwig, J.E., J.A. Meyer and R.W. Davidson, "Influence of polymer impregnation on mechanical properties of basswood", For. Prod. J., 18, (7) 33 (1968)
  - 35) Iannazzi, F.D., P.L. Levins, F.G. Perry and R.S. Lindstrom, "Technical and economic considerations for an irradiated wood-plastic material", USAEC Annual Report, TID-21434, Arthur D. Little Inc., Sept 1 (1964)
  - 36) 山名成雄, "放射線照射木材プラスチック材料に対する技術的ならびに経済的考察, その1-3", 木材工業, 21, (11) 528; (12) 584 (1965); 22, (4) 182 (1967)
  - 37) Evans, J.C., D.M. Egan, P.R. McDonald, C.H. Collins and J. Knopp, "Commercialization studies on wood-plastic combinations process", USAEC Annual Report, NYO-3569-1, Dec. 17 (1965)
  - 38) Raff, R.A.V., I.W. Herrick and M.F. Adams, "Polymerization of styrene-divinylbenzene in wood", For. Prod. J., 15, (2) 260 (1965)
  - 39) The Southern Interstate Nuclear Board, "Commercialization of the process of manufacturing radiation produced plastic impregnated wood in The Southern Region" USAEC Annual Report, TID-22774, March (1966)
  - 40) Rohman, C.A., "Irradiated wood-plastic materials commercialization in the Pacific Northwest and Great Lakes Regions", USAEC Annual Report, BNWL-261, June 1, (1966)
  - 41) Frankfort, J.H. and K.M. Black, "Engineering and evaluation study for the manufacture of wood-plastic composites", USAEC Annual Report, KLX-1876, June 3 (1966)