

# 海外各国における木材プラスチック研究概況(3)

種田 健造

著者らは1969年に、海外各国の木材プラスチック(WPC=Wood Plastic Composite)に関する研究ならびにその企業化に関する状況について、当時手もとにあった文献を参考にして、その概要を紹介した<sup>28)</sup>。しかし、その後も数多くの新しい論文が発表されているのでここに解説を続けることにした。

アメリカ原子力委員会(USAEC)が、同国のウエストバージニア大学等に対し、木材へのプラスチックモノマーの注入と放射線照射による重合によつてWPCの研究に支援を始めたのが1959年頃であるが、その後、約10年間にわたる企業化への努力を含めた一連のプログラムには、すでに一応の終止符が打たれている。WPCに関するの現在までの文献を通覧すると、1960年代前半までは、大部分がアメリカにおけるものであったが、後半に入り、これが多数の国に波及し、1967年頃より、アメリカ以外の国の研究が多くみられるようになってきている<sup>1)</sup>。WPCは現在、その実験的な研究をすでに終え、一部の企業が趣向をこらしたWPC試作品を市場に流し、その動向に関心を向けている段階にあると思われるが、このような新しい材料は、研究面に登場してきた当初の数年間の花々しさから考えると、その市場開拓にはなお苦難の道が横たわっているように感じられる。しかし、すでに広大な市場が確立している繊維強化プラスチック(ERP)が、その研究から開発への胎動を始めた時期はWPCの10~20年前であることを考えると、WPCが今後、多彩な技術的展開をみせる可能性がないとみるのは危険であり、なお多少の年月を要するかも知れないが、現在は将来への発展へ向けて徐々に一般への浸透が進みつつある段階とも受け取られる。

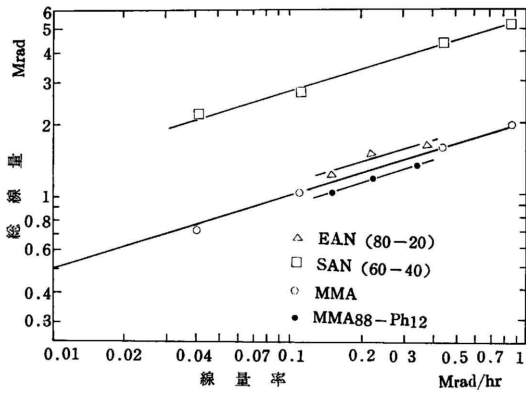
WPCについては、わが国における関連の解説もすでに多数にのぼっている<sup>2-29)</sup>が、ここでは紙数の都合で、特許以外の外国文献について取りまとめている。1968年以降の日本におけるWPC関係文献数は、他のいずれの国よりも多く、その内容も多岐にわたっており、機会があれば、外国特許や国内文献についても解説してみたいと思っている。

## 1. 1967年までの研究

USAECが支援したアメリカの各研究機関のWPC研究が、一応の見通しを得た段階で、一般へのPRを目的とした解説が1962年頃より見られるようになった<sup>30-36)</sup>。これらには、放射線法に関して、化学工業への意義、新材料のもつ魅力、予想される用途、原料、技術、経済性、将来性などが論じられているが、その大要は、わが国におけるWPCについての解説と異なるところは少ない。しかし、アメリカのこのように豊富な調査費を用いた大規模で組織的なデータが基礎となっている報告は日本にはみられない。

ダウケミカルのKenaga<sup>37)</sup>はスチレン-溶媒-水系の木材中での重合において、ポリマー生成量はエタノールが最も大きく、ついでジオキサソ、アセトンであ

り、寸度安定化はアセトン、ジオキサソ、エタノールの順に低くなること、また電子線照射は線よりも寸度安定効果が大きい、引張強さ、摩擦係数への影響は小さい等の結論を得ている。1963年にはUSAEC年報にKent<sup>38)</sup>の報告がみられる。1964年に行なわれたUSAECの支援する研究者による第4次契約者会議において、Kent<sup>39)</sup>はメタクリル酸(MA)とメタクリル酸メチル(MMA)の逐次二段注入法がWPCの寸法安定化に好影響を与えること、酸素の影響を除くと注入されたMMAは2Mradでほぼ完全に重合し、酢酸ビニル(VAc)はサトウカエデ、カバ中で0.6Mradでほぼ完全に重合するが、空気中ではこれより多量の放射線を必要とし、とくにホワイtpayn中のVAcは10Mradでも重合しないと報告した。



第1図 重合完結に必要な総線量への線量率の影響

1965年, Feibush<sup>40)</sup>は耐圧容器中で塩化ビニル(V C)の注入, 重合, -78 での常圧処理法を報告し, 寸度安定性, 各種の物性のほか, 化学抵抗性, 耐火性能の測定を行なっている。1966年, Kent<sup>41)</sup>は木材中での各種モノマーの重合に必要な線量を検討し, 第1図に示すようにポプラ, カニデ, カバ中では, 線量率0.1Mrad/hrを用いると, MMAは1.0Mrad, スチレン60-アクリロニトリル60コモノマー(SAN60-40)は2.7Mradで重合はほぼ完結するが, 線量率が10倍になれば必要線量は約2倍となり, また難燃剤Phosgardの添加により必要線量はやや小さくなり, これに対しホワイトパイン中ではやや線量を多く必要とするとの結果を得ている。またRoberts<sup>42)</sup>はアクリ

第1表 WPC の 特性評価

特 性	企業よりの回答数			
	良好	部分的に良	不良	不明
被削性のこひき	27	2	0	39
平滑削り	21	1	0	46
研削	31	0	2	35
丸削り, 彫刻等	25	6	2	35
きりもみ	11	4	3	50
接着剤接合				
接着性	12	0	2	54
仮接着性	9	0	7	52
重量増加	3	12	14	39
吸湿性と寸度安定性	15	6	3	44
ポリマー分布均一性	0	0	10	57
そり	3	0	8	57
汚染抵抗	3	0	8	57
コスト	5	6	16	41

ル化合物, 改良スチレンおよびビニル化合物による41樹種の放射線法WPC8, 000ポンド以上をUSAECが選定した78の企業に送り, いろいろな製品の試作を行なって, その材質および経済面の評価を68社から受け取り, これを第1表のように取りまとめている。被削性をはじめ, 接着性, 吸湿性, 寸度安定性に対する評価は高いが, マイナス面としては, 重量増加によって労賃や輸送費の上昇を招くこと, 強酸, 強塩基の汚染には比較的弱いことなどのほか, さらに単板におけるそり, ねじれ, もろさ, ポリマー分布の不均一および接着などの面からWPC化技術の立ちおくれが指摘されている。コストはWPCの材質の向上から期待できる市場の将来性を考慮しても, これを受け入れうる価格であるとする回答は全体の1/4を下まわり, 問題を投じている。そのほか, WPCから製作した63種の試作品のうち, 材質および価格の両面から有望と認められたものは, オフィス用家具, 刃物類の柄, 物差し, 標識(野外彫刻), 成形用単板など5種に過ぎなく, きびしい評価がなされている。

1967年, Kentら<sup>43)</sup>は8種のモノマーの選択, 橋かけ剤, 可塑剤の添加について検討した。まず最も一般的

第2表 良好なコポリマー系

モノマー組成	必要線量	ポリマー特性	原料コスト
スチレン 85	2.2Mrad	硬く強じん	0.18 \$/1b
ビニルデンクロライド 5			
TPTM 10			
ビニルデンクロライド 85	0.8Mrad	硬く強じん	0.16 \$/1b
MMA 10			
TPTA 5			
ビニルデンクロライド 50	1.0Mrad	硬く強じん	0.16 \$/1b
MMA 50			
エチルアクリレート 90	1.0Mrad	ゴム状	0.23 \$/1b
ビニルデンクロライド 10			
エチルアクリレート 50	1.0Mrad	ゴム状	0.18 \$/1b
ビニルデンクロライド 50			
エチルアクリレート 50	1.0Mrad	ゴム状	0.21 \$/1b
アクリロニトリル 50			
エチルアクリレート 80	1.0Mrad	ゴム状	0.23 \$/1b
アクリロニトリル 20			

TPTM: Trimethylol propane trimethacrylate(橋かけ剤)  
 TPTA: Trimethylol propane triacrylate (橋かけ剤)

に使われるMMAおよびSAN60 - 40以外の優れた注入液を見いだすことに目標がおかれた。その結果、第2表の組み合わせが推奨されたが、なお機械的、物理的テストが必要としている。また可塑剤についてはMMAにはSaniticizer630とAroclor5460(ともにモンサント社製)が適しており、前者は可撓性に富むが後者はむしろ傾向があり、Saniticizer 141はMMAおよびSAN60 - 40に添加して耐火性を与え、スチレン添加用可塑剤としてはAroclor5460が重合時の必要線量を少なくさせるなどを明らかにした。アメリカンマシンアンドファンダリー社のGoliasら<sup>44)</sup>は、シラキウス大学、Meyer教授らの指導による同社の触媒加熱法を紹介し、この方法が放射線法よりも製造コストの面で優れていることを報じた。イギリスのLaidlaw<sup>45)</sup>は一般科学技術者向けのWPCの解説を行ない、WPCはその材質と製造コストから考えて、建材または荷重支持材料としては十分な適応性がなく、その適用範囲は、寸度安定性、深みある仕上り、表面の美しさなどが重要な要因となる分野にとどまると推論している。スウェーデンのAagaard<sup>46)</sup>は3か年間にわたった同国の国費による主としてパイン-MMA系の研究成果を発表し、重合に要する線量(これはUSAECの結果<sup>41)</sup>とほとんど一致)を求め、心材および放射組織以外の組織への浸透は良好である、かたさ、寸度安定性は向上する、などを認めた。しかしその他の物性の向上は重量増加率による当然な程度であり、グラフト重合は線量、試片の形態、溶媒ならびに木材の膨潤に依存し、生成した処理材の水分の吸収量は終局的には未処理材のそれと大きな差を示さないが、拡散速度が変化し、平衡に達するまでに要する時間が長くなることを明らかにしている。

## 2. 1968年以降の研究

### 2.1 アメリカ

1968年、ウエストバージニア大学のLoos<sup>47)</sup>はWPCの吸水に伴う寸度変化を調べ、そのASE(抗膨潤能)はSAN60 - 40による処理材がMMA処理材よりも大きい、ポリマー添加率50%確度のWPCがポリマ

ー添加率のより高い処理材よりも大きい、広葉樹処理材の方が針葉樹のそれよりもやや大きい等を明らかにし、これらはすべて処理中の木材の膨潤によるバレーキング効果のためで、ポリマー添加率の高い場合は処理後期に重合収縮が起こるためとしている。シラキウス大学のSiau<sup>48)</sup>らはWPCの強度、動的弾性係数、誘電率、交流比抵抗などの物性を測定し、一つのモデルの想定のもとに理論式を導き比較的検討を加えた。

1969年にはEllwoodら<sup>49)</sup>はWPCの物理および機械的性質を取り扱い、4樹種4系統のモノマー(MMA, MMA88 - Phosgard12, SAN60 - 40, エチルアクリレート80 - AN20)を用い、60Coからの線によって重合、統計的解析を行なってポリマー添加率による機械的性質の向上を明らかにし、側面かたさ11倍、摩耗抵抗7倍、横圧縮強さ6倍等の高い向上を得るものの、横引張強さ(34%)など向上率の低い物性もあることを示した。またASEの測定を吸湿で行ない、SAN60 - 40の処理材が良好であったが、Loos<sup>47)</sup>の場合(吸水)のように、なかほどのポリマー添加率に極大を示すことはなく、その添加率の上昇とともに、漸次向上する傾向が示された。ついでMeyerら<sup>50)</sup>の研究であるが、WPCに使う新しいモノマーとしてt-Butyl styrene (TBS)およびHeiman - Gulfepoxy monomerをあげ、これらは蒸気圧が低いので加熱重合中のモノマー損失がきわめて少なく、また重合による収縮も小さいので空隙充てん率の高いWPCを製造でき、かたさおよび曲げ強さの上昇はMMAの場合よりも大きいとしている。またサウザンパインの種々の改質処理の解説も行ない<sup>51)</sup>、WPCについてとくに詳細な比較検討を行なって、細胞壁への浸透の重要性を述べている。Daavettila<sup>52)</sup>はCC14を使ったMMAおよびスチレンのWPCについて研究し、かたさ、曲げ強さ、圧縮強さおよび耐水性が上昇、衝撃強さは50~70%減少する結果を得た。

1970年にはMeyer一派のTimmons<sup>53)</sup>によるWPCの物理的特性についての論文が発表されているが、筆者はまだこれ入手していない。Kenaga<sup>54)</sup>は高沸点のスチレン型モノマーの触媒加熱重合について、多彩

な内容の研究を行なっている。すなわち、Vinyl toluene, TBSおよびMonochlorostyreneを使うと包覆なしで重合を遂行でき、数種の橋かけ剤をTBSに加えると重合時間が短縮され、モノマーロスが減少する、Dimethyl fumarateとのモノマーは耐摩耗性が向上する、エポキシ樹脂によるこれらWPCの接着はPolyethylene imine前処理によって向上する、防火剤としては Tris (2,3 dibromo propyl) phosphate が最も効果があり、強度の低下も少ない、合板パネル製作において単板中のモノマー重合と接着を同時に行なうことは得がたい利点があるなどをその内容としている。

1971年 Timmons<sup>55)</sup>はWPCにおける細胞膜中のポリマー分布に関して、オートラジオグラフィおよび電子線分析法を用いて測定し、乾燥試片に直接モノマーを拡散させるよりも、溶媒交換によって細胞膜へのモノマーの拡散が容易となり、約19%のポリマーが沈着、なかでも複合細胞間層中でポリマー濃度が最も高くなっていることを示した。Boyle ら<sup>56)</sup>はVCなどビニルモノマー化合物の木材中での放射線重合とWPCの物性について検討を行なっている。

1972年Ellwood<sup>57)</sup>は4種のビニルモノマーによる木材処理の寸度安定効果について検討し、SAN60-40が最もよく、MMA、エチルアクリレート(EA)の効果はやや小さい、防火剤 Phosgardの添加でさらに低下する、一般に乾燥試片の1,000時間水中浸せきによるASEは30%RH平衡から85%RH平衡にいたるASEにほぼ一致する、SAN60-40を充分に添加したWPCはポリエチレングリコール(PEG)やフェノール樹脂を30~40%添加したものとほぼ同一のASEで、ビニルモノマーの含浸率が低い範囲は細胞内腔への分布状態が良くないためASEが比較的低い値にとどまるとしている。またSiau<sup>58)</sup>は数種のモノマーを使ったWPCの火管法試験を行ない、Phosgard C-22-Rの効果を検討している。スチレン型モノマー処理材は濃煙を発生すが、MMA系では本質的に無煙であること、燃焼速度は可燃材料の質量に反比例すること、Phosgardによる耐火性の向上は大きくはな

いが、通常の防火性塩類よりは有効であることなどが確認さかている。

## 2.2 ソ連

ソ連ではWPCよりも強化木(フェノールアルデヒド樹脂圧縮処理材)に関する研究がより多くみられたが、ここではビニル系樹脂処理に限って紹介する。1959年、Ivanov<sup>59)</sup>は未処理材とWPCについて、乾湿繰り返しによる膨潤圧の減少および乾湿両状態における機械的強度を測定し、WPC処理による改質効果を評価するための最少限のプログラムを提案している。Pormale<sup>60)</sup>はスチレンまたはVAcで処理したカバのWPCについて、吸湿性、生物耐性および機械的性質を調べ、吸湿量は1/4に低下する、腐朽菌による減量は1/7にまで低下する、割裂および曲げ強さは45~48%増し、ブリネルかたさは24%にまで増大する、スチレンの方がVAcよりも良好な結果を与えることを報告している。さらに同氏<sup>61)</sup>は上記WPC製造時のスチレン重合性について、無触媒、20時間では、80°Cで12%、100°Cで36%、107°Cで約50%の転化率を示すが、0.4%のBPO添加により重合速度は80°Cで約9倍となる、WPC化により吸湿、吸水は1/4~1/5に下がるが、寸度安定性は3~5倍向上するとの結果を得ている。Khrulev<sup>62)</sup>はWPC接着の問題を取りあげ、パインとカバのブロック状試片のスチレン注入加熱重合材をフェノール樹脂およびレゾルシノール樹脂接着剤で接着したところ、前者では浸せきによるはがれが多く、未処理材に比べて接着強度が低下し、接着剤自体も弾性変化を示したが、後者では未処理材よりも接着力が高く、耐水性も大きいことを報告している。Alksnis<sup>63)</sup>はモノマー(スチレンまたはMMA)-木材(カバ)-水系における木材の膨潤および浸透について調べ、MMA中での膨潤はスチレン中の10倍に達する、材含水率が大きくなると膨潤率は低下し、含水率が一定値以上ではかえって収縮が起こる、板目方向と柃目方向の伸びが等しくなるのは、材の含水率が10%(スチレン)または20%(MMA)の場合である、材の含水率によって吸収モノマーを調節することができ、含水率の増加によって最大吸収モノマーは減

少するなどのことを明らかにした。Zakisら<sup>64)</sup>は線照射法で得たスチレンとカバによるWPCに対して一連の化学的処理(72% $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ アルコール液, 過酢酸の各液による処理, アルカリ蒸解, チオグリコール酸処理)を行ない, ポリマーと木質成分の間に化学結合が存在し, リグニン, 炭水化物いずれとも結合している, クラフト共重合体の定量はベンゼン抽出後72% $H_2SO_4$ 処理する方法が適しているとしている。Glukhovら<sup>65)</sup>はカバ中のスチレンとMMAの放射線重合動力学およびその物理・機械的性質を研究した。スチレンは, 30~35Mrad, MMAは1~2Mradでそれぞれほぼ重合を完結する, 線照射(35Mrad)によって曲げ強さ, 衝撃曲げ強さ, せん断強さがそれぞれ1360, 767 $kg/cm^2$ , 0.53, 0.05 $kg \cdot m/cm^2$ , 142, 106 $kg/cm^2$ に減少し, 5Mrad以上の照射は好ましくないことを認め, またMMA処理による曲げ強さ, 衝撃曲げ強さ, せん断強さの増加は, 重量増加27%および75%でそれぞれ47%, 3%, 9%, および75%, 45%, 37%となる, 吸水後の曲げ強さの減少は未処理53%に対し処理材は27%と少ない, などの結果を得ている。腐朽のこくずの処理に関するTyutikovら<sup>66)</sup>の研究は興味深い。すなわち乾腐菌によって部分的に腐朽させたのこくずを使用し, プラスチックと混和させて加圧し, 新鮮なのこくずを使用した場合よりも強いボードを製造するが, これは菌が木材のセルロース-リグニン間の結合の加水分解開裂を起こし, つぎの圧縮工程で単離したリグニンがバインダーとしての働きをなし, 通常のパインダーを用いて調製されるボードとは著しく異なった性質を与え, これは1~2年間野外に貯えたのこくずの利用開発の可能性を示すものとしている。

1970年, Vikhrevら<sup>67)</sup>はのこくずに過酸化ベンゾイル(BPO)を添加したスチレンおよび無水マレイン酸の混和物を含浸させ, 加圧, 加熱重合し, 3次元のコポリマーを形成したことを報じた。加圧成形材料はベンゼン抽出によってポリスチレン, 続いてアセトン抽出によりスチレン-無水マレイン酸コポリマー(Stiromal)を与え, さらに抽出残渣を72%硫酸によ

って加水分解すると, アセトン抽出により単離されたStiromalが得られた。成形材料の赤外線吸収スペクトルは, 木材のOH基が無水マレイン酸と反応していること, Stiromalの遊離OH基の存在していることを示し, またこの材料のパネルが湿気に強い抵抗を示すことを明らかにしている。Pormaleら<sup>68)</sup>はカバ中でのスチレンおよびVAcの放射線重合について調べ, VAcの重合は認められなかった, スチレンは線量率70rad/secでは, 線量5Mradから25Mradまでにグラフト率が約4倍となり, 反応系にBPOを加えるとグラフト率はかえって低下し, グラフト率の増大は材の吸水を減少させ, 寸度安定性を向上させることを示した。同氏ら<sup>69)</sup>は続いて, 同様カバ中でのスチレンの放射線重合にVAcを5~10%添加すると必要線量は1/2.5に減少するがBPOを0.1~0.2%添加してもモノマー転化率への影響は少ない, 処理材の吸水量は未処理に較べて1/5になるが, VAcの添加により寸度安定性の向上は小さくなるとしている。Alkasnisら<sup>70)</sup>はカバに25~27rad/secの線を照射するとスチレンおよびANを重合させることを確め, これは木材中に生成したラジカルが一部再結合せず, トラップドラジカルとなり, のちにモノマーが到達して重合が開始する, BPOや加熱によっては木材ラジカルは生成しない, 重合は木材中の方が通常の塊重合よりも速く進み, かつポリマーはより多分散性となり, 転化率の高い場合はポリマーと木材との間に橋かけが形成され, 主としてリグニンにグラフトするなどを報告した。同氏ら<sup>71)</sup>はまたメタノールの影響を調べ, 重合速度を著しく増大させ, 木材中の炭水化物にグラフトするポリマー量を増加させ, リグニンへグラフトした分枝を大きくしていることを認め, グラフト反応を4種類に分類し解説している。

1971年, Lebedevら<sup>72)</sup>はカバおよびハコヤナギ中でのビニルモノマーの重合に有機リン化合物の有効なことを報じ, 10~30%の $(RO)_3PO$ ( ),  $(RO)_3P$ ( ), または $(RO)_2P(O)H$ ( ) (R-はメチル, エチル, プチル, フェニルまたはクレジルの各基)をMMAに添加すると, 放射線重合が促進され,

重合完結に必要な線量を低くすることができ、その促進順位はメチル>エチル>ブチル、I>II>IIIであり、トリブチルフォスフェート(TBP)が最も大きい2.5倍の促進効果を示したという。また同氏ら<sup>73)</sup>はスチレンおよびSAN60—40にZnCl<sub>2</sub>, NiCl<sub>2</sub>またはCrCl<sub>3</sub>(CCI溶液として)などの遷移金属塩化物を添加し、アスペンに注入すると放射線重合速度が10—15倍に増加し、その活性度はスチレンでCrCl<sub>3</sub>>NiCl<sub>2</sub>>ZnCl<sub>2</sub>, SAN60—40でCrCl<sub>3</sub>, ZnCl<sub>2</sub>>NiCl<sub>2</sub>の順となることを認め、この塩類の効果について一つの理論を提案している。Vikhreva<sup>74)</sup>はさきのスチレンと無水マレイン酸ののこずへの含浸に加えて、無水コハク酸を添加して浸透重合させると、セルロースやリグニンのOH基がエステル化され、これらが木材成分と化学結合をもつことを示唆した。Zoldnersら<sup>75)</sup>はスチレンを用いて含水率によるカバへの注入、重合についての影響を検討し、乾燥材よりも湿潤材の方が注入量多く、その重合速度も含水率が0.4%から20%に増加すると5.7倍に増大する<sup>76)</sup>ことを示した。Karpovら<sup>77)</sup>はカバとアスペンを用いて木材中のビニルモノマーの重合完結に必要な線量を調べ、MMAの場合、必要線量は線量率とともに増加し、物理・機械的性質は線量率に関係なく改善され、MGF—9またはPN—1で処理したWPCはフェノールまたはエポキシ樹脂接着剤でよく接合し、高品質のラミネートを与えるという。Zoldnersらはカバを用いて含水率が材中のスチレンの重合に及ぼす影響を詳細に調べている。第1報<sup>78)</sup>ではモノマー注入量は含水率20~25%まで徐々に増加するが、それ以上になると下向すること、減圧度の低下によって注入率が低下するとともに軸方向のモノマー分布も不均一となるが、照射後のポリマー分布は均一に近づく、これは注入率の低い部分の重合速度が大きいことが一因となっているとした。第2報<sup>79)</sup>では放射線重合速度が含水率25%までは増大し絶乾時の5.7倍にまで達する、グラフトポリマー生成量も増加し、繊維飽和点近辺でその極大を示す、水分によりモノマーの細胞膜への浸透の容易になることが重合反応を促進するためと思われる、湿潤材では照射後約2日

間は重合率がわずかに上昇(後効果)する、空気中の酸素は反応の抑制作用を示すなどを明らかにした。

1972年に入り、引続き第3報<sup>80)</sup>では線量節減の目的でBPOまたはCCl<sub>4</sub>を添加し、乾材中での重合促進作用は0.5%BPOで約2倍、14%CCl<sub>4</sub>で2.5~3倍となるが、湿潤材中では水の強い影響でその大部分が打消される、グラフト率はかえって低下する、CCl<sub>4</sub>は10%以上添加するとかえって重合反応を低下させる、ポリマー分子量はCCl<sub>4</sub>添加により急激に低下すると報告した。Lebedevら<sup>81)</sup>は前述の報告<sup>72)</sup>に引き続いて有機リン化合物の効果について検討し、重合促進効果については同じ結果を繰り返して述べたほか、難燃性および機械的性質についてのデータを公表し、難燃性はTBP添加量の増加とともに向上し、機械的性質のうち衝撃強さはやや低下するものの、曲げ強さおよび引張強さは10%のTBPを添加した場合に最も大きく向上することを明らかにした。

以上のソ連の研究のうち、多くの文献<sup>60,61,63, 4,68,69,70,71,78,79,80)</sup>はラトビア共和国化学アカデミー・木材化学研究所から発表されているものであり、同研究所のWPCに寄せる期待が並々ならぬものであることがうかがえる。(以下次号)

## 文 献

- 1) Mott, W.E. and V.T. Stannett, *Isotopes and Radiation Technology*, 6, 323 (1969).
- 2) 村山敏博: 木材工業, 18, 262 (1963); 19, 538 (1964); 20, 516 (1965).
- 3) 村山敏博: 放射線化学, 4, 206 (1969).
- 4) 村山敏博: 化学工業, 16, 445 (1965).
- 5) 村山敏博: 山林, (981) 44 (1966).
- 6) 村山敏博: 日本化学工業, 11 (117) 8 (1963).
- 7) 古谷 剛: 化学工業, 20, 508 (1969).
- 8) 古谷 剛: 高分子, 22, 92 (1973).
- 9) 中村 章: 北方林業, 21, 196 (1969).
- 10) 後藤田正夫: 木材工業, 23, 306 (1968).
- 11) 長田幸民: 木材工業, 23, 313 (1968).
- 12) 長田幸民, 鳥越靖: 別冊化学工業, 15—No. 4, 169 (1972).
- 13) 半井勇三: グリーン・エージ, 19, No. 12, 51 (1969).
- 14) 福本次夫: 原子力工業, 17, No. 7, 68 (1971).
- 15) 堀岡邦典: 家具産業, No. 1, 193 (1973).
- 16) 堀岡邦典: 別冊化学工業, 15—No. 4, 152 (1972).
- 17) 竹内阪蔵: 化学経済, 19, No. 6, 66 (1972).
- 18) 後藤輝男: 木材工業, 23, 294 (1968).
- 19) 後藤輝男: MOL, 6, No. 11, 16 (1968).
- 20) 後藤輝男: 材料, 16, 809 (1967).
- 21) 中山雄二郎: 木材工業, 27, 224 (1972).

- 22) 中山雄二郎, 岩本威生: 工業材料, 19, No. 9, 65(1971).
- 23) 川瀬 薫: 工業技術, 12, No. 3, 34 (1971).
- 24) 種田健造: 北林産試月報, No. 7, 7 (1971).
- 25) 種田健造: 林産技術研究発表大会論文集, No. 18, 179 (1969).
- 26) 種田健造: 木材工業, 25, 254 (1970).
- 27) 種田健造: 林, No. 9, 1 (1972).
- 28) 種田健造, 川上英夫: 北林産試月報, No. 9, 1; No.10,1 (1969).
- 29) 種田健造: 材料, 22, 926 (1973).
- 30) Nucleonics, 20, No. 3, 94 (1962).
- 31) Ind. Eng. Chem., 56, No. 3, 11 (1964).
- 32) Chem. Week, 117 (Aug. 14, 1965).
- 33) Chem. Eng., 72, No. 17, 64 (1965).
- 34) Modern Plastics, 44, No. 7, 96 (1967).
- 35) For. Prod. J., 17, No. 2, 19 (1967).
- 36) Modern Castings, 52, No. 4, 98 (1967).
- 37) Kenaga, D.L., J.P.Fennessey and V.T. Stannett, For. Prod. J., 12, No. 4, 161 (1962).
- 38) Kent, J.A., A.Winston and W.Boyle, USAEC Report TID-18907 (1963).
- 39) Kent, J.A., Process Radiation Development Program Summaries, Fourth Annual Contractor Meeting, 37, (June 18-9, 1964).
- 40) Feibush, A.M., USAEC Report NYO-3334 (1965).
- 41) Kent, J.A., G.B. Taylor, W.R.Boyle and A.W. Winston, USAEC Report ORO-2945-8 (1966).
- 42) Roberts, P.J., W.L. Bridges and A.O. Burford, USAEC Report ORO-3415-1 (1966).
- 43) Kent, J.A., A.Winston, W.R. Boyle and G.B. Taylor, USAEC Report ORO-2945-7 (1967).
- 44) Golas, C. and D.Schneider, Woodworking Digest, June, 42 (1967).
- 45) Laidlaw, R.A., New Scientist, 30, 551 (1967).
- 46) Aagaard, P., Svensk Komisk Tidskrift, 79, 501 (1967).
- 47) Loos, W.E., Wood Sci. and Technol., 2, 308 (1968).
- 48) Siau, J.F., R.W.Davidson, J.A.Meyer and C.Skaar, Wood Sci., 1, 116 (1968).
- 49) Ellwood, E., R.Gilmore, J.A.Merrill and W.K.Poole, USAEC Report ORO-638(1969).
- 50) Langwig, J.E., J.A.Meyer and R.W.Davidson, For. Prod. J., 19, No. 11, 57 (1969).
- 51) Meyer, J.A. and W.E.Loos, For. Prod. J., 19, No. 12, 32 (1969).
- 52) Daavettila, D.A. and B.A.Haataja, FPRS 23rd Annual Meeting, Session 23-Chemical Conversion, San Francisco (July 10, 1969).
- 53) Timmons, T.K., "Physical Characterization of the Wood-Polymer Composite", (1970) Report of Coll. For., State Univ. New York, Syracuse.
- 54) Kenaga, D.L., Wood and Fiber, 2, No. 1, 40 (1970).
- 55) Timmons, T.K., J.A.Meyer and W.A.Côté, Wood Sci. 4, No. 1, 13 (1971).
- 56) Boyle, W.R., A.Winston and W.E.Loos, USAEC Report ORO-2945-10 (1971).
- 57) Ellwood, E.L., R.C.Gilmore and A.J.Stamm, Wood Sci., 4, 137 (1972).
- 58) Siau, J.F., J.A.Meyer and R.S.Kulik, For. Prod. J., 22, No. 7, 31, (1972).
- 59) Ivanov, Y.M., Holztechnologie, 10, No. 1, 12 (1969).
- 60) Pormale, M.Ya., N.A.Kashkina, Ya.A. Surna and G.Ya. Korotkiya, Khimiya drevesiny, 3, 151 (1969).
- 61) Pormale, M.Ya., N.A.Kashkina and Ya.A. Surna, Khimiya Drevesiny, 3, 155 (1969).
- 62) Khrulev, V.M., Izv. Vyssh. Ucheb. Zaved., Les. Zh., 12, No. 2, 79 (1969).
- 63) Alksnis, A.F., Ya.A. Surna, M.K. Indane, R.A. Rasinya, M.M. Landsberga, A.A. Tsinite and P.P. Erinish, Khimiya Drevesiny, 4, 149 (1969).
- 64) Zakis, G.F., A.F. Alksnis and Yu.A. Zoldners, Khimiya Drevesiny, 4, 155 (1969).
- 65) Glukhov, V.I., V.A.Zaivii, G.V.Shiryayeva and V.L.Karpov, Plast. Massy, No. 7, 12 (1969).
- 66) Tyutikov, S.S. and V.N.Petri, Tr. Ural. Lesotekh. Inst., No. 20, 79 (1969).
- 67) Vikhrev, V.N., L.N.Natkina and N.Ya. Solechnik, Izv. Vyssh. Ucheb. Zaved., Les. Zh., 13, No. 1, 137 (1970).
- 68) Pormale, M.Ya., N.A. Kashkina and Ya. A. Surna, Khimiya Drevesiny, 5, 103 (1970).
- 69) Pormale, M.Ya., N.A.Kashkina and Ya.A. Surna, Khimiya Drevesiny, 5, 109 (1970).
- 70) Alksnis, A.F., Ya.A. Surna, L.Ya.Salna, E.L.Rayavee, M.K.Indane, R.A.Rasinya, M.M.Landsberga and A.A.Tsinite, Khimiya Drevesiny, 5, 119 (1970).
- 71) Alksnis, A.F., Ya.A.Surna, M.K.Indane, R.A. Rasinya, M.M.Landsberga and A.A.Tsinite, Khimiya Drevesiny, 5, 129 (1970).
- 72) Lebedev, V.T., S.I.Suminov, G.V.Shiryayeva and V.L.Karpov, Dokl. Akad. Nauk SSSR, 197, 601 (1971).
- 73) Lebedev, V.T. and A.I.Kurilenko, Vestsi Akad. Navuk Belarus. SSR. Ser. Khim. Navuk, No. 3, 111 (1971).
- 74) Vikhrev, V.N., L.N.Natkina and N.Y. Solechnik, Izv. Vyssh. Ucheb. Zaved., Les. Zh., 14, No. 2, 99 (1971).
- 75) Zoldners, J., A.Cinite, J.Surna and R.Rasina, Khim. Drev., No. 9, 39 (1971).
- 76) Zoldners, J., J.Surna, I.Vandana and A.Edolfa, Khim. Drev., No. 9, 45 (1971).
- 77) Karpov, V.I., Y.M.Ivanov, G.V.Shiryayeva, A.S.Fridin, V.P.Markaryants, V.A.Zaivii and V.I.Glukhov, Khim. Drev., No. 10, 39 (1971).
- 78) Zoldners, Yu.A., A.A.Tsinite, Ya.A. Surna and R.A.Rasinya, Khimiya Drevesiny, 9, 39 (1971).
- 79) Zoldners, Yu.A., Ya.A. Surna, I.Ya. Vandana and A.Ya. Edolfa, Khimiya Drevesiny, 9, 45 (1971).
- 80) Zoldners, Yu.A., Ya.A. Surna and I. Ya. Vandana, Khimiya Drevesiny, 12, 125 (1972).
- 81) Lebedev, V.T., S.I.Suminov, G.V. Shiryayeva, V.L. Karpov and V.Ya. Norikov, Vysokomol. Soedin., Ser. A, 14, 422 (1972).