

論文 廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の強度性状

崔 洛運*1・大濱 嘉彦*2・出村 克宣*3

要旨: 本研究では、廃発泡ポリスチレン（廃EPS）をスチレンに溶解した溶液を結合材として用い、廃木材チップを硬化させた廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体を製造し、その強度性状について検討している。その結果、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げ及び圧縮強度は、結合材量の増加、木材チップ混入率の減少及び木材チップ-充填材比の減少に伴って増加し、充填材-結合材比 0.25 で最大値に達する。又、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げ荷重-たわみ挙動は、主として結合材の性質によって大きく支配され、最大曲げ荷重以降の曲げ荷重が急激に減少する傾向にある。

キーワード: 廃発泡ポリスチレン, 廃木材, スチレン, 架橋剤, 複合体, 強度, リサイクル

1. はじめに

近年、「建設工事に関する資材の再資源化などに関する法律（建設リサイクル法）」及び「容器包装リサイクル法」の施行に伴い、廃木材及び廃発泡ポリスチレンの処理対策が急務である^{1,2)}。著者らは、廃発泡ポリスチレンのスチレン溶液に架橋剤、開始剤及び促進剤を添加することによって、常温硬化性結合材およびポリマーモルタルの製造に成功している^{3,4)}。本研究では、廃木材及び廃発泡ポリスチレンの建築材料への有効利用を目的に、木造家屋解体時に発生する解体木材をチップ化し、それを廃発泡ポリスチレンを用いた結合材で硬化させた廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体を製造し、その強度性状について検討している。

2. 使用材料

2.1 結合材系の材料

廃発泡ポリスチレン（EPS）としては、その模擬品として、JIS A 9511（発泡プラスチック保温材）に規定するビーズ法発泡ポリスチレンの「保温板4号」（密度、17kg/m³）を使用した。減容用溶剤兼結合材用モノマーとしては、JIS K 6727（スチレン）に規定する工業用スチレン(ST)を、又、架橋剤としては、三官能性モノマーであるトリメチロールプロパントリメタクリレート（TMPTMA）を使用した。開始剤としては、過酸化ベンゾイルを50%含むフタル酸ジシクロヘキシル（BPO）を、又、促進剤としては、N,N-ジメチルアニリン（DMA）を使用した。結合材系材料の性質を **Table 1** に示す。

Table 1 Properties of Materials for Binders

Type of Material	Molecular Weight	Density (g/cm ³) (20°C)	Melting Point (°C)	Boiling Point (°C)	Flash Point (°C)	Purity (%)	Inhibitor Content (ppm)
ST	104.1	0.91	-30.6	141.5	31	99.8	TBC*40
TMPTMA	338.4	1.06	—	—	—	97.3	MEHQ** 63
BPO	242.2	1.30	103.0	—	80	—	—
DMA	121.2	0.96	2.5	193.0	62	—	—

Notes, TBC*: *p*-t-butyl catechol. MEHQ**: methylether hydroquinone.

*1 日本大学大学院 工学研究科 建築学専攻（正会員）

*2 日本大学教授 工学部建築学科 工博（正会員）

*3 日本大学教授 工学部建築学科 工博（正会員）

2.2 充填材

充填材としては、重質炭酸カルシウムを使用した。重質炭酸カルシウムの性質を **Table 2** に示す。なお、充填材は、乾燥し、その含水率を0.1%以下として使用した。

Table 2 Properties of Ground Calcium Carbonate

Size (mm)	Density (g/cm ³)	Water Content (%)	Organic Impurities
<2.5×10 ⁻³	2.70	<0.1	Nil

2.3 廃木材

廃木材としては、木造家屋解体時に発生する解体木材チップ (以下、木材チップと略称)を使用した。なお、木材チップについては、105℃で48h乾燥し(密度、1.30 g/cm³)、その含水率を0.1%以下として使用した。木材チップの外観及び粒径分布をそれぞれ、**Photo 1** 及び **Fig.1** に示す。



Photo 1 Appearance of Wood Chips

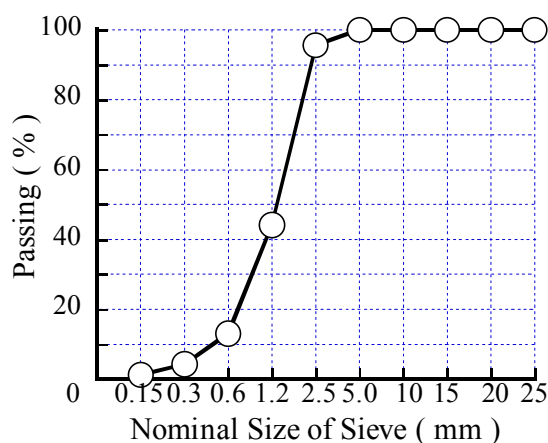


Fig.1 Grain Size Distribution Curve for Wood Chips

3. 試験方法

3.1 結合材の調製

EPS:ST:TMPTMA=32 : 48 : 20(質量比)となるように、減容用溶剤兼結合材用モノマーとしてのスチレンにEPSを溶解させたEPS溶液に、架橋剤を添加して混合し、液状レジンとしての架橋剤添加EPS溶液を調製した。スチレンモノマー、EPS溶液及び液状レジンの外観を **Photo 2** に示す。又、**Table 3** には、液状レジンの性質を示す。液状レジンに開始剤及び促進剤を添加し、よくかくはんして、結合材を調製した。**Table 4** には、廃発泡ポリスチレンを用いた結合材の配合を示す。



Styrene Monomer EPS Solution Liquid Resin

Photo 2 Appearances of Styrene Monomer, EPS Solution and Liquid Resin

Table 3 Properties of Liquid Resin

Density (20°C) (g/cm ³)	Viscosity (20°C) (mPa·s)	ST Content (%)	TMPTMA Content (%)
0.99	8860	48	20

Table 4 Formulations of Binder for Waste Expanded Polystyrene-Waste Wood Composites

Formulations (%)				
Liquid Resin			BPO (phr*)	DMA (phr*)
EPS	ST	TMPTMA		
32	48	20	2.0	0.5

Note,* : parts per hundred parts of resin.

3.2 供試体の作製

廃発泡ポリスチレンを用いた結合材と充填材

を、ホバートミキサを用いて、2min 機械練りを行って供試ペーストを調製し、次に、木材チップを混入して 3min 練混ぜた後、寸法 40×40×160mm に成形して、24h 乾燥 {20°C, 50%(RH)} 養生+15h 加熱(70°C)養生を行い、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の供試体を作製した。**Table 6** には、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の調合を示す。

Table 6 Mix Proportions of Waste Expanded Polystyrene –Waste Wood Composites

Proportioning Conditions		Mix Proportions (vol %)		
		Binder	Filler	Wood Chips
Binder Content (vol %) [Wood Chip-Filler Ratio=2.0(by volume)]	45	45	18	37
	55	55	15	30
	65	65	12	23
Wood Chip Content (vol %) [Filler-Binder Ratio=0.35(by volume)]	0	74	26	0
	25	56	19	25
	30	52	18	30
	35	48	17	35
	0	70	0	
Filler-Binder Ratio (by volume) [Wood Chip Content =30 (vol %)]	0.25	56	14	30
	0.35	52	18	
	0.45	48	22	
	0.55	39	31	
Wood Chip-Filler Ratio (by volume) [Binder Content =55(vol %)]	1.0	55	22.5	22.5
	1.5		18	27
	2.0		15	30
	2.5		13	32
	3.0		11	34

3.3 曲げ強度及び曲げタフネス試験

JCI SF-4 (繊維補強コンクリートの曲げ強度及び曲げタフネス試験方法)に従って、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の供試体の曲げ強度試験を行い、同時に、曲げタフネスを算出した。

3.4 圧縮強度試験

曲げ強度試験後の折片を用いて、JIS A 1183(はりの折片によるポリエステルレジコンクリートの圧縮強度試験方法)に準じて、供試体の圧縮強度試験を行った。

4. 試験結果及び考察

Fig.2 及び **Fig.3** には、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げ及び圧縮強度に及ぼす結合材量及び木材チップ混入率の影響を示す。木材チップ-充填材比を 2.0 と一定にした、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げ及び圧縮強度は、結合材量の増加に伴って増加する。充填材-結合材比を 0.35 と一定にした、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げ強度は、木材チップ混入率の増加に伴って増加し、木材チップ混入率 25vol%で最大値に達する。又、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の圧縮強度は、木材チップ混入率の増加に伴って減少する。

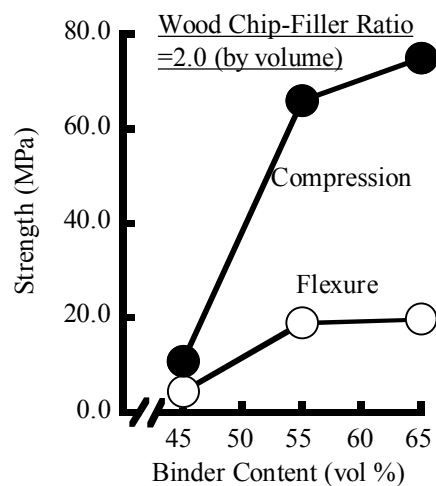


Fig.2 Binder Content vs. Flexural and Compressive Strengths of Waste Expanded Polystyrene-Waste Wood Composites

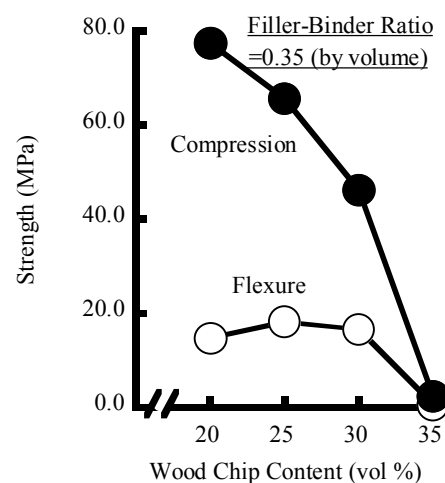


Fig.3 Wood Chip Content vs. Flexural and Compressive Strengths of Waste Expanded Polystyrene-Waste Wood Composites

Fig.4 及び Fig.5 には、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げ及び圧縮強度に及ぼす充填材-結合材比及び木材チップ-充填材比の影響を示す。木材チップ混入率を 30vol%と一定にした、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げ及び圧縮強度は、充填材-結合材比の増加に伴って増加し、充填材-結合材比 0.25 で最大値に達する。結合材量を 55vol%と一定にした、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げ及び圧縮強度は、木材チップ-充填材比の増加に伴って減少する。

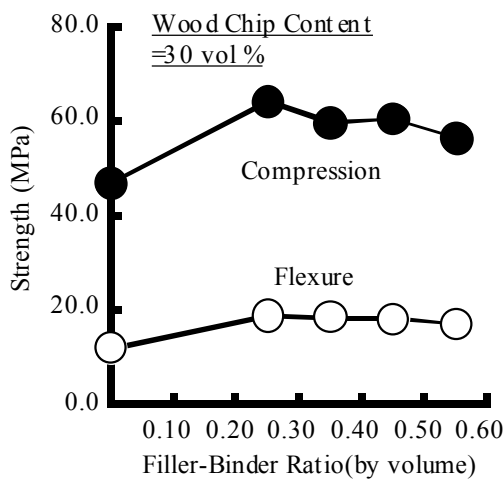


Fig.4 Filler-Binder Ratio vs. Flexural and Compressive Strengths of Waste Expanded Polystyrene-Waste Wood Composites

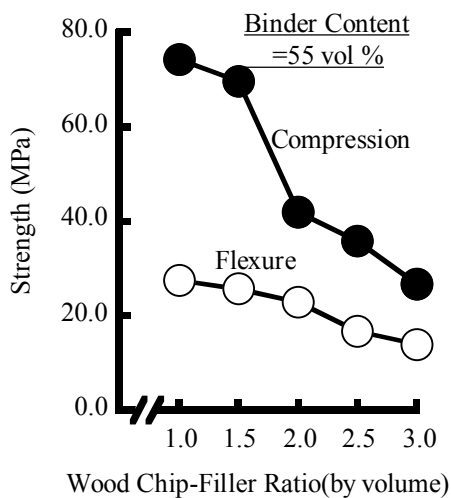


Fig.5 Wood Chip-Filler Ratio vs. Flexural and Compressive Strengths of Waste Expanded Polystyrene-Waste Wood Composites

Fig.6 及び Fig.7 には、結合材量及び木材チップ混入率を変化させた、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げ荷重-たわみ曲線を示す。木材チップ-充填材比を 2.0 と一定にした、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の最大曲げ荷重時のたわみは、結合材量の増加に伴って減少し、結合材量 55vol%で一定になる。充填材-結合材比を 0.35 と一定にした、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の最大曲げ荷重時のたわみは、木材チップ混入率の増加に伴って増加し、木材チップ混入率 25vol%で最大値に達する。又、その最大曲げ荷重を示した後の変形能力は、木材チップ混入率の増加に伴ってわずかに増加する。

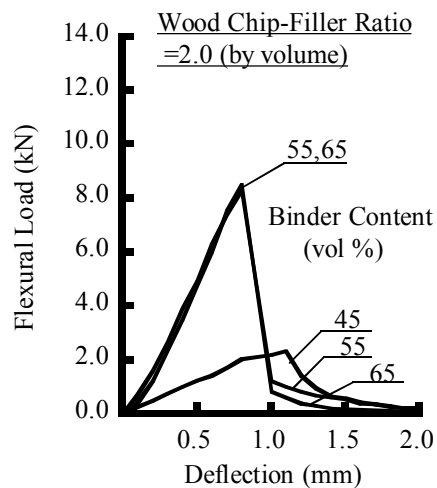


Fig.6 Flexural Load-Deflection Curves for Waste Expanded Polystyrene-Waste Wood Composites with Binder Contents of 45, 55, 65vol%

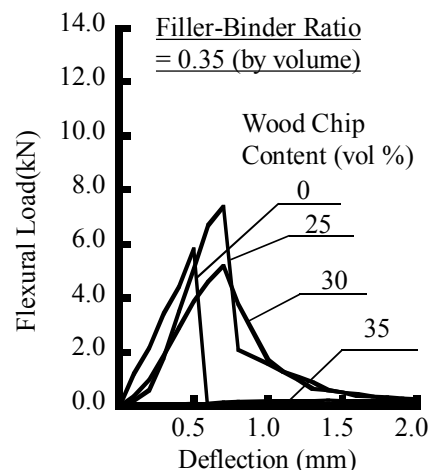


Fig.7 Flexural Load-Deflection Curves for Waste Expanded Polystyrene-Waste Wood Composites with Wood Chip Contents of 0, 25, 30, 35vol%

Fig.8 及び Fig.9 には、充填材-結合材比及び木材チップ-充填材比を変化させた、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げ荷重-たわみ曲線を示す。木材チップ混入率を 30vol%と一定にした、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の最大曲げ荷重時のたわみは、充填材-結合材比の増加に伴って減少する。又、充填材-結合材比にかかわらず、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体では、その最大曲げ荷重以降の曲げ荷重が急激に減少する傾向が見られる。結合材量を 55vol%と一定にした、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の最大曲げ荷重時のたわみは、木材チップ-充填材比の増加に伴って増加し、木材チップ-充填材比 2.0 で一定になる。又、木材

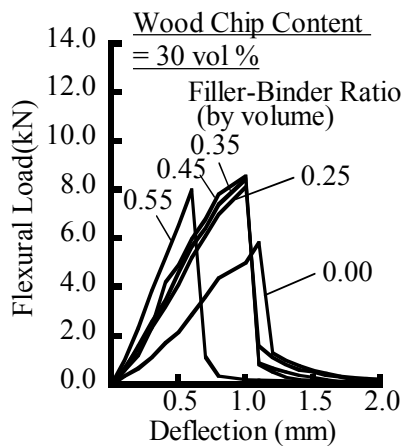


Fig.8 Flexural Load-Deflection Curves for Waste Expanded Polystyrene-Waste Wood Composites with Filler-Binder Ratios of 0.00, 0.25, 0.35 (by volume)

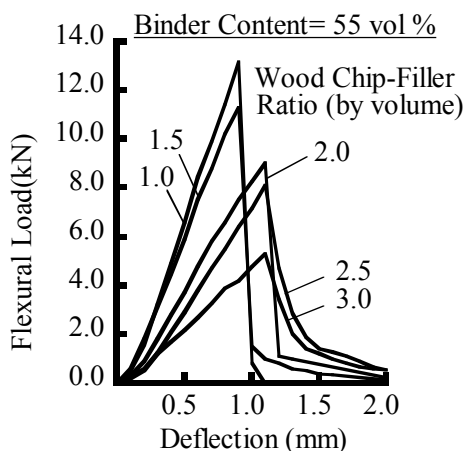


Fig.9 Flexural Load-Deflection Curves for Waste Expanded Polystyrene-Waste Wood Composites with Wood Chip-Filler Ratios of 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 (by volume)

チップ-充填材比にかかわらず、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体では、最大曲げ荷重以降の曲げ荷重が急激に減少する傾向が見られる。これは、廃発泡ポリスチレンを用いた結合材の硬化物は、架橋された脆性材料であり、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げ荷重-たわみ挙動が、結合材の性質によって大きく支配されるためと考えられる。

Fig.10 及び Fig.11 には、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げタフネスと結合材量及び木材チップ混入率との関係を示す。木材チップ-充填材比を 2.0 と一定にした、廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げタフネスは、結合材量の増加に伴って増加し、結合材量 55vol% で最大値に達する。充填材-結合材比を 0.35 と

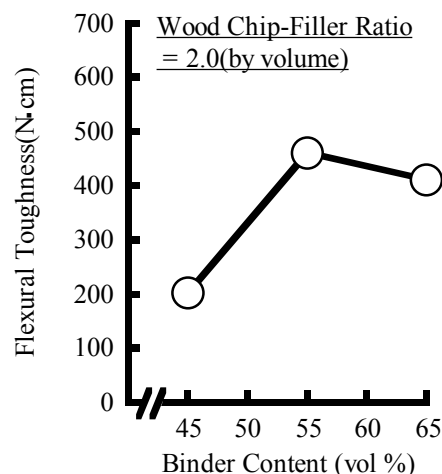


Fig.10 Binder Content vs. Flexural Toughness of Waste Expanded Polystyrene-Waste Wood Composites

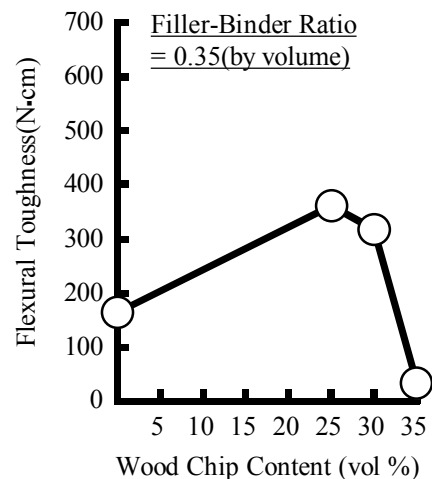


Fig.11 Wood Chip Content vs. Flexural Toughness of Waste Expanded Polystyrene-Waste Wood Composites

一定にした, 廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げタフネスは, 木材チップ混入率の増加に伴って増加し, 木材チップ混入率 25vol%で最大値に達する。

Fig.12 及び Fig.13 には, 廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げタフネスと充填材-結合材比及び木材チップ-充填材比との関係を示す。木材チップ混入率を 30vol%と一定にした, 廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げタフネスは, 充填材-結合材比の増加に伴って増加する傾向にあり, 充填材-結合材比 0.45 で最大値に達する。結合材量を 55vol%と一定にした, 廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げタフ

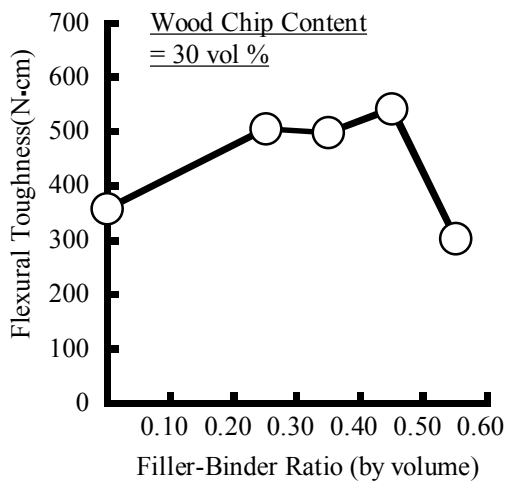


Fig.12 Filler-Binder Ratio vs. Flexural Toughness of Waste Expanded Polystyrene-Waste Wood Composites

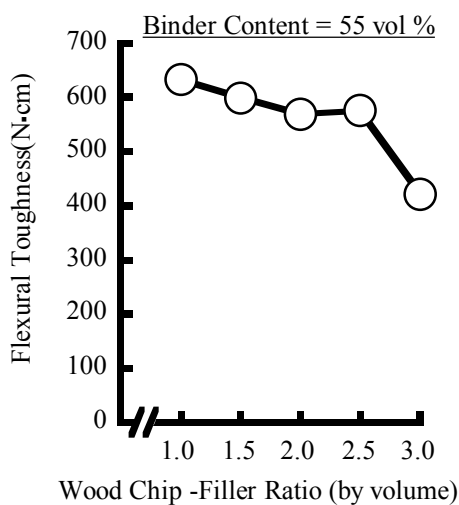


Fig.13 Wood Chip-Filler Ratio vs. Flexural Toughness of Waste Expanded Polystyrene- Waste Wood Composites

ネスは, 木材チップ-充填材比の増加に伴って減少する。

5. 結論

本研究で得られた試験結果を結論づければ, 次の通りである。

- (1) 廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げ及び圧縮強度は, 結合材量の増加, 木材チップ混入率の減少及び木材チップ-充填材比の減少に伴って増加し, 充填材-結合材比 0.25 で最大値に達する傾向にある。
- (2) 廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げ荷重-たわみ挙動は, 結合材の性質によって大きく支配され, 最大曲げ荷重以降の曲げ荷重が急激に減少する傾向が見られる。
- (3) 廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げタフネスは, 結合材量, 木材チップ混入率及び充填材-結合材比の増加に伴って増加し, それぞれ 55vol%, 25vol%, 0.45 で最大値を与える傾向にある。又, 廃発泡ポリスチレン-廃木材複合体の曲げタフネスは, 木材チップ-充填材比の増加に伴って減少する。

参考文献

- 1) 野口勉: *d*-リモネンを用いた発泡スチロールリサイクル技術, 高分子, Vol.48, No.10, p.791, 1999.8
- 2) 渋谷和久: 再利用率が低い混廃, 汚泥, 木材, 日経アーキテクチュア, No.661, pp.31~33, 2000.3
- 3) 崔洛運, 大濱嘉彦, 出村克宣: 廃発泡ポリスチレンを用いたポリマーモルタルの基礎性質に及ぼす廃発泡ポリスチレン溶液濃度及び架橋剤添加率の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 23, No.2, pp.1135~1140, 2001.6
- 4) 崔洛運, 大濱嘉彦, 出村克宣: 廃発泡ポリスチレンを用いたポリマーモルタルの性質に及ぼす開始剤及び促進剤の影響, 第 45 回日本学術会議材料研究連合講演会講演論文集, pp.280~281, 2001.9