材料と加工——木材をめぐる——*

杉 原 彦 一** 奥 島 啓 式*** 小 林 昭****

Materials and their Processing——Centering around Wood——

by

Hikoichi SUGIHARA

(Department of Wood Science and Technology, Kyoto University, Kyoto)

Keiji OKUSHIMA

(Department of Precision Mechanics, Kyoto University, Kyoto)

and Akira KOBAYASHI

(Manufacturing Engineering Laboratory, Tokyo Shibaura Electric Co., Kawasaki)

1 は じ め に

木材は最も古く、最も手近な、最も多く使われてきた材料である。地球表面に天然に生育した樹木を原料とする、と言うよりは、樹木そのものが材料と言ってもよい位の天然材料であり、日常材料あるいは工芸材料でありながら、とくに近年は、住宅生産の工業化により、構造用工業材料としての比重を高めてきている。そして構造材料でありながら各種の機能材料でもありうるし、更にまたパルプ・紙の原料でもあるという多能的性格を有する材料である。

性能的に多能であるということは、逆に格別に秀れた性能を有しない平凡な材料であるとも言える。構造材料として力学的性能で、軽くて強いすぐれた材料ではあるが、強度的には鉄鋼材料に遥かに劣るし、断熱・絶縁材料として熱的・電気的性能で特色はあるが、より優秀な断熱材料、絶縁材料としては発泡プラスチックフォームや各種プラスチックがあるし、切削加工は大変しやすいけれども、塑性加工は曲げ木以外見るべきものがないし、酸やアルカリには表面は犯されても内部まではなかなか犯されないが、菌や虫には簡単に内部まで喰い荒されるというように、燃える、腐る、狂うという三大欠点以外は殆んどの点で及第点はつけられるが、それは可か良であって優や秀ではない。総合判定をしてはじめて他材料に比べて優あるいは秀となるのが木材という材料だと言われる。

材料として昔から常に木材と対比されるのは鉄であ

り、近年はなばなく登場してきたプラスチックは木材とも鉄ともまた甚だ対照的な材料である。三者は互いに対照的でありながら、色々な意味で深くかわり合う点があるにも拘らず、その周辺が論じられることが少かった。本稿は鉄とプラスチックを対照に置いて、木材の加工を通してこれを論じようとしたもので、杉原と奥島、杉原と小林の対談記録を基にして杉原がとりまとめたものである。

本稿ではとくに断りないかぎり、“木材”は素材を意味し、合板・集成材・パーティクルボード・ファイバボードなどの木質材料は含まないものとし、“プラスチック”は着色剤、可塑剤、安定剤などを添加したものまでを意味し、FRP など複合強化したもの、発泡させたものなどは含まないものとし、“鉄鋼”は炭素鋼までとし、合金鋼を含まないものとして記述している。

2 材 料

材料は品物を造る素材である。我々は構築物・建物・機械・器具・雑貨・衣料品・食品・薬品・印刷物・工芸品など色々な品物を、色々な材料を用いてこれを加工して造っている。こうした品物を能率よく、正確にそして安価に造るために工業的生産を行う。このような工業生産に用いる素材を工業材料という。現在、量的には、材料の大部分は工業材料として使われていると言っても良い。

材料が工業材料として用いられる場合、その材料のもっている性能が、製品として要求される機能に適切に合致するよう選択使用される。製品機能に合致するよう要求される材料性能は力学的性能をはじめとして、熱的・電磁氣的・光学的・音響的・化学的などの性能

* 原稿受理 昭和52年1月10日

** 正 会 員 京都大学農学部 京都市左京区北白川追分町

*** 正 会 員 京都大学工学部 京都市左京区吉田本町

**** 東京芝浦電気(株)生産技術研究所 川崎市幸区柳町

のほかに、広い意味では、被加工性・耐久性・装飾性・環境汚染性・廃棄性・価格などが考えられる。

製品に要求される機能は文明の進展と共に、新しく、深く、広く各種各様に広がってきており、それにつれて材料に要求される性能も新しく、より厳しくより複雑となり、高純度化・新材料物質の合成・複合などと種々の開発が進められている。しかし現在使用されている材料を量的に、そしてまた金銭的にみると、圧倒的に巨大なのは、各種の品物の骨格を造るための構造材料である。構造材料に要求される第一の性能は大きさに代表される空間的ひろがりであり、その強度・剛性などの力学的特性である。かくしてその力学的特性を利用する場合を構造材料とし、他の特性を利用する場合を各種の機能材料として区別するのが一般である。

現在人類が使っている材料のうちで6大工業材料といわれるものは木材・鉄鋼・セメント・プラスチック・銅およびその合金・アルミニウムおよびその合金であるが、銅を除いて他の五つは主として構造材料と

図1 米国での材料生産 (lbs.)

図2 米国での材料生産 (m³)

表I 材料の価格 \$/ton (米国)

	鋼	アルミニウム	銅	木 材	セメント
原 鉱 石	9.39	7.15	—	20 (立木)	10
粗 材	85	500	748	40 (原木)	40
板 材	131	810	1 410	120 (コンク)	10
構 造 材	130	760	1 415	120 (リート)	10

して使われ、その生産量は、例えば米国では図1および図2に示すごとき状態である。これらはプラスチックを除いていずれも地球上に資源が多量にあり、割合簡単に安価に、原料として入手できるものである。そして更に木材・鉄鋼・セメントは表I、IIの価格比にみられるように割合簡単に材料に作れるものである。(表I、表II中木材・セメントは筆者推定)

2・1 木材

地球表面の70%は海で、陸地は30%にすぎず、現在この陸地の30%が森林で覆われているにすぎない。木材はこの森林の生産物である。大古は陸地の殆んどは森林であったのに、例えば英国などではその95%が失

表II 材 料 の 価 値 (英国)

	引 張 強 さ (ton/口")	密 度 (gr/cm ³)	価 格 (£/ton)	価 格 (d/inch ³)	価 値 (d/inch ³ /ton/口")
鑄 鉄 並 級	10~14	7.3	70~120	2.0~3.4	0.20~0.24
高 級	14~24	7.3	90~150	2.5~4.3	0.28~0.29
鋼 材 構 造 用	37~43	7.8	80~100	2.4~3.0	0.07
板	25	7.8	40~58	1.3~1.8	0.05~0.07
ア ル ミ 材 引 抜 き	12~18	2.7	360~390	3.7~4.1	0.23~0.31
板	13~19	2.7	260~600	2.7~6.3	0.20~0.30
プ ラ ス チ ッ ク ス 成 型 ポ リ エ チ レ ン	1	0.9	260	0.9	0.9
塩 ビ ナ イ プ	4	1.4	200	1.1	0.25
木 材 柱 (米 松)	8	0.5	40	0.082	0.010

われてしまった。それでもなお、太陽エネルギーによって、年々地球上で自然に生産される樹木の量は50億 m^3 (1 ha 当り 1.2 m^3) と、現在の人口38億人が消費する25億 m^3 の2倍見当と見積りうる。²⁾ かくして木材資源は年々増加するという特別の資源のごとく考えられるが、それは資源であって、他に原料とはなり得ないままに朽ち果てていくものが多いことを見逃してはならない。安価に原料として入手できる木材は、他の資源と同様年々減少していきつつあると考えねばならないのである。

それにしてもなお豊富で、殆んど自然のままで材料に近い形のものとしてある木材は、安価で、強く、大きくて、軽くて、加工しやすく大量に使われる材料である。

2・2 鉄鋼

地殻の深さ 16 km までに存在する岩石を構成する物質は、酸素50%・珪素25%・アルミニウム47.5%・鉄5%・カルシウム3.5%・ナトリウム2.5%……の順であるといわれ、これら六つの元素で合計94%を占める。そしてこれらの Si, Al, Fe, Ca, Na などの金属は通常各種酸化物や硫化物として存在する。これらのうち最もとり出しやすいのが鉄で、殆んどが酸化鉄として存在し、炭素で割合簡単に還元できる。鉄鋼が多く使われる大きな理由は、力学的性能が抜群にすぐれていることのほかに、このように豊富に資源が存在し且つ割合簡単に材料に作れるためである。

鉄鋼材料は重く、錆びやすく機能的に数々の不適性を有しながら、力学的性能において格別にすぐれているため、力学的機能を主とする構造材料として圧倒的に有利で、金属材料の大半を占め、格別に扱われている。

2・3 プラスチックス

鉄や木材に対して、地球上に存在せず、人工的に造り出されて、急速に非常に多く使われるようになった新しい材料がプラスチックスである。(図1, 2)

プラスチックスの起源は1868年セルロイドの発明にあるが、1909年石炭→コールタール→ベンゼン→フェノールと得られるフェノール類とホルマリンとから人工的に造られた熱硬化性樹脂ベークライトにはじまると言ってもよく、石炭・石油・天然ガスの開発利用から急速に開花した高分子合成化学に支えられて、人工の夢の材料として開発された各種各様の新しい高分子有機材料群である。色々の長所・短所はあるにせよ他物質の充てん・複合が容易で、流れる性質を利用して自由に形を与える、人工的にいかようにも設計できる材料である点に最大の特色がある。しかし問題はその資源の主体である石油・天然ガスの有限性であり、その見込動向が価格に敏感にひびく点である。それは、何処まで伸びるのか、天を突くかの勢いであったのが、

1973年のいわゆる石油ショック以来一服の体であることに示されている。

しかしやはりプラスチックスは人工の夢多い材料として、木材・鉄鋼に対し甚だ対照的で注目すべきものであることに変わりはない。

3 材料の特性

木材・鉄鋼・プラスチックスの、材料としての特性を、これら三材料の相互比較の形で、一覧表にまとめたものが表Ⅲである。

資源としては、木材は無限であり、鉄鋼は未だ充分であるが、プラスチックスは石油・天然ガスは先が見えてきており、石炭にたよるか他に新しい資源を探さねばならない段階にきている。木材資源は無限と述べたが、確かに木質資源は先述のように無限であるが、一般に言われる木材資源——すばらしい木材、美しく・温かく・強く・大きい木材が得られる——資源は決して無限ではない。こうした木材が得られる立木は人工を絶えず加えて育てて100年、自然に放置したままでは500年を要するであろう。100年という時間は1時間の100万倍であり、100年を100万倍すれば1億年という石油・石炭の作られてきた時間になる。100年～500年先に得られる木材を見通して現在の木材資源をみるならば、現状は石油資源と同じ位に逼迫していると考えべきではあるまいか。むしろ無限性をもつ木質資源は化学転換によって石油に替ってプラスチックス資源となるべき途を歩むべく努力すべきでないかとも考えられる。

木材の資源—立木—は地表に広く希薄に散在している資源であり、その収獲が困難な点に特異性がある。採算が合わないため原料となり得ず放置すれば朽ちて消えていく資源である。収獲さえできるならば資源は全く簡単に鋸挽きするだけで直ちに材料となることもまた特異である。

鉄鋼が、鉄に炭素が固溶した金属の多結晶合金で、ほぼ均質・等方性で稠密な構造物質であり、プラスチックスはモノマーの重合あるいは縮重合体で均質・稠密ではあるが製造時の流動成型条件によって異方性を示す無定形あるいは結晶性の有機高分子物質であるのに対して、木材は、有機高分子物質がその膜壁を構成する中空の細長い細胞が、無数に一定の秩序を保って連なった、構造物である。したがって木材は、密度が凡そ1.5の物質よりなりながら、その比重が0.3というようなものが一般に存在し、水を最大限に含む場合は200%にも達するという特異な構造をもっている。

力学的性能においては鉄鋼があらゆる点で抜群にすぐれていることは言うまでもないが、単位重さ当りの強度では木材の方が優れていることがあるし、簡単にできる繊維強化によって鉄鋼に優る力学的性能を示す

表Ⅲ 材 料 の 特 性

	木 材	プラスチック	鉄 鋼
資 源	立 木 希 薄 散 在 再 生 無 限	石油・石炭・天然ガス 集 中 有 限	鉄 鋼 石 集 中 有 限
原 料	原 木	モ ノ マ ー 塩化ビニール、酢酸ビニール、 スチレン、エチレン、プロピレ ン、フェノール、ビスフェノー ルA、尿素-ホルマリン、メ ラミン-ホルマリンなど	酸 化 鉄
材 料 成 分	天然有機高分子 (セルロース、ヘミセルロー ス、リグニン) 0.3~0.9 (実質物 1.5) 不均質・異方性 多 孔 質 細 胞 構 造 含 水 率 (%) 10~200 形 状 柱・角 棒・板	合成有機高分子 (多種・多構成成分重合体) 0.9~1.6 均 質・異方性 稠 密 非 晶-結 晶 0.01~4.0 棒・管・板・膜 鋳 型 物	Fe の C 固溶体金属 7.0~7.8 均 質・等方性 稠 密 多 結 晶 合 金 0 柱・棒・管・線・板 鋳 型 物
力学的性能	含水率敏感 (30%まで) 温 度 鈍 感 引張強さ (kg/mm ²) 4~20 (縦方向) 圧縮強さ (") 2~7 (") 弾性係数 (E) (") 600~2 000 (") (G) (") 55~160 (") 衝撃強度 (kg·m/cm ²) 0.3~1.6 か た さ — H _B 0.4~7 鋼 と の 摩 擦 係 数 (静) 0.26~0.60 (動) 0.10~0.25	温度敏感, 高温粘性, 低温ぜい性 1~8 2~12 50~1 000 — 0.01~0.40 H _V 5~60 H _B 2~25 (静) 0.10~0.70 (動) 0.05~0.45	温 度 敏 感 10~ 80 40~ 180 6 000~25 000 3 000~ 8 500 2~ 20 H _V 130~520 H _B 130~490 (静) 0.40 (動) 0.35~0.40
熱的性能	比 熱 (cal/g°C) 0.33 線 膨 張 係 数 (0.3~4.5)×10 ⁻⁵ 熱伝導率 (cal/s·cm·°C) (1.5~5 0)×10 ⁻⁴	0.25~0.55 (5~20)×10 ⁻⁵ (3~12)×10 ⁻⁴	0.11 (1.0~1.2)×10 ⁻⁵ 1 150×10 ⁻⁴
耐 熱 性	使 用 限 度 100°C 分 解 開 始 200°C	60~200°C 300°C	300°C 700°C(変態)
電磁気的性能	体積抵抗率 (Ωcm) 10 ⁸ ~10 ⁹ , 含水率敏感 誘 電 率 2~5, 含水率敏感 帯 電 性 な し 磁 性 な し 電 波 透 過 性 有	10 ¹¹ ~10 ¹⁹ 2~5 有 な し 有	(13~25)×10 ⁻⁶ — な し 有 な し
光 学 的 性 能	不 透 明	不透明-透 明	不 透 明
化 学 的 特 性	光 劣 化 性 有 着 色 性 良 好	甚 だ し い 良 好・多 彩	な し な し
	酸・アルカリに割合強い 有機溶剤に溶け難い	酸・アルカリに強い 有機溶剤に溶け易い	酸・アルカリに弱い 有機溶剤に溶けない
生 物 劣 化	甚 だ し い	少 い	な し
耐 久 性 (年)	10~100	1~10	10~100
感 覚 的 性 能	上	中	下
複 合	合板, 積層材, 集成材, パーティ クルボード, ファイバボード	FRP 発 泡 材	合 金 鋼
加 工 性	上	中	下
再 利 用 性	大	小	中
廃 棄 処 理	易	難	や や 難
利 用 実 績	1 000 年	10~70年	250 年

プラスチックも開発されてきている。

熱的性能ではプラスチックが膨張係数が非常に大きい。木材は縦方向では常に小さいが横方向ではその10倍を越す。しかしこれは含水率変化による膨張に比べると比べものにならぬほど小さく、2桁の違いがある。使用限度では木材は殆んど100℃と一定なのに対して、プラスチックは種類によって50°~200°と甚だしい差があることが特異である。

電磁氣的性質ではプラスチックに甚だしい帯電性があることが特異で、木材・プラスチックは誘電体で電気抵抗は甚だ大で電波の透過性を有していることが特質である。

光学的にはプラスチックが特異で、透明なものがあり、無機ガラスとならんで有機ガラスとも称せられる。しかしプラスチックは概して光劣化性が甚だしい。

化学的特性としては、プラスチックの大きな特色として各種各様の添加剤、充てん材使用が可能なことであるが、例えば着色剤によりあざやかな着色が可能な点などがある。

木材は菌に犯されやすく、虫に喰われやすく生物劣化は甚だしいが、化学的劣化には割合強い。これに対しプラスチックは生物劣化には割合強いが、光や有機溶剤に弱く耐候性では長くて10年、1年位の耐候性しかないものがある。この点、木材は菌と虫に注意しさえすれば100年の耐久性は充分であり、鉄鋼に優る。

感覚的には色ではプラスチックが優るが、変化と模様の多彩さ、触感の温か味などの点で木材がすぐれ、木材として唯一の抜群の性質と言いうる。

複合性の点では先の着色などを含め、人工の材料であるプラスチックが抜群であり、今日ではむしろ複合したものをプラスチックと呼ぶべきかも知れないほどである。このように非常にすぐれた点をもつプラスチックも、現在の最大の難点は、再利用の途がなく、廃棄処理が公害汚染などで困難なことであり、未だ新しい材料であるが故に、利用実績が短く、魅力的ではあっても、馴染みが少ないことである。

4 加工

材料はそのもっている性能を、製品の中で要求される機能に合せて採用し用いられる。例えば構造材料は其のもっている空間的ひろがり力学特性の故に用いられるが、そのためには加工が必要である。

第一の加工は製品に合せて必要な形態を与えること一賦形一である。第二は種々の非適性を補うか、さらに別の性能を与えて不足する適性を増すなどの目的で化粧すること一表面処理一である。更には金属材料の熱処理、木材の乾燥・薬剤注入などの改質の加工も材料の加工として考えられるが、改質された材料はすで

に別の材料として考えるべきとの判断でとくに断わらない場合は考察の対象としていない。また木材は材料としてではなく、他の材料（紙・繊維など）を造るための原料として用いられ、そのための加工が施される

表Ⅳ 賦形加工法

	鉄 鋼	プラスチック	木 材
型 込	砂 型 鑄 造 金 型 鑄 造 精 密 鑄 造 遠 心 鑄 造 ダイカスト 低 加 圧 鑄 造 真 空 鑄 造 連 続 鑄 造	射 出 成 形 圧 縮 成 形 トランスファ成形 注 型 成 形 中 空 成 形 押 出 し 成 形	(成形パーティクルボード)
変 形	鍛 造、圧 延 引 抜 き、押 出 し プ レ ス 加 工 転 造 管 材 加 工	真 空 成 形 カレンダー加工 プ レ ス 加 工	曲げ木(蒸煮、アンモニア処理)
集 合	熔 ろ う 付 け ボ ル ト 結 合 リ ベ ン ト 結 合	積 層 成 形 接 着 熱 接 合 木 ね じ 結 合	接 着、釘 着 金 具 接 合 木 ね じ 結 合 柄 接 ぎ 継 手 接 ぎ 仕 口 接 ぎ
分 割	熔 断、せん断 鋸 断 研 削 切 断	鋸 断、熔 断 せ ん 断 研 削 切 断	鋸 断、割 裂
除 去	旋 削、雫もみ 中 ぐ り、型 削 り フ ラ イ ス 削 り リ ー マ 加 工 ブ ロ ー チ 加 工 研 削、打 抜 き 歯 切 り (タ ッ プ と ダ イ ス) 放 電 加 工 電 解 加 工 特 殊 加 工	旋 削、雫もみ 中 ぐ り、型 削 り フ ラ イ ス 削 り リ ー マ 加 工 ブ ロ ー チ 加 工 ル ー タ 加 工 研 削、打 抜 き 歯 切 り (タ ッ プ と ダ イ ス) 特 殊 加 工	平 削 り 回 転 削 削 り 鋸 挽 き フ ラ イ ス 削 り ル ー タ 加 工 雫もみ、の み 彫 り 旋 削、研 削 剥 ぎ 取 り は っ け こ そ げ と り

表Ⅴ 表面処理加工法

	鉄 鋼	プラスチック	木 材
平滑・美化	研 磨 スクレーピング 塗 装	研 磨 スクレーピング 塗 装 着 色	研 磨、塗 装 着 色、印 刷 オーバレイ 圧刻・ ブラスチング
防湿・耐食化	塗 装 皮膜構成 (さび止皮膜・拡散 皮膜・金属皮膜) フ ェ ー シ ン グ ラ イ ニ ン グ 電 気 化 学 処 理	薬 剤 塗 布 熱 処 理	塗 装 薬 剤 塗 布・注 入 樹 脂 注 入 化学処理 (アセチル化、 ホルマル化)
耐摩耗化	硬 化 処 理 皮 膜 構 成 フ ェ ー シ ン グ ラ イ ニ ン グ	放 射 線 照 射 自 己 潤 滑 化	塗 装 樹 脂 注 入 オーバレイ
耐熱・耐火化	皮 膜 構 成 フ ェ ー シ ン グ		塗 装 オーバレイ 薬 剤 注 入

が、ここでは対象外として考えることにする。

新しい製品には新しい機能が含まれ、その機能を満足する性能を有するような材料の開発がなされるにつれて、また新しい加工法も生れてくるが、木材・プラスチック・鉄鋼に対して、現在行われている加工法を一覧すれば表Ⅳ、Ⅴの如くである。

4・1 賦形加工

材料に所要の形を与える加工法は表Ⅳに示すように各種のものがある。第一は大から小へ、すなわち大きな材料を鋸断や熔断により分割したり、切削によって不要部分を除去したりして必要な形を造ることである。第二には逆に小から大へ、すなわち小さい材料を集めて大きな部材を造ったり、小さな部分をそれぞれに造ってそれらを熔接したり、接着したりして必要な形を与えることである。

木材は切削や接着が大変しやすく——これが木材は加工しやすいと言われる所以であるが——こうした賦形方法で殆んどすべてこと足りるが、鉄鋼は切削や熔接がそう容易ではなく、機械フレームのような複雑な強固な形状を要するものを造るには、高温になれば溶融し流動し、冷却すれば固まるという金属特有の性質を利用して、鑄造による賦形が古くから広く行われてきている。木材は、その材質の熱的性質から、こうした方法は適用し得ず、わずかに小片（例えば $1\phi \times 10\text{mm}$ ）を接着剤にまぶし、型につめて圧縮賦形する成型パーティクルボードの手法が実用化されているにすぎない。この点プラスチックは鉄鋼と木材の特長を合せもっているというべきで、そのレオロジカルな性質を利用して、粉末・粒状の原料を低温加熱し流動させて型にはめてつくり、また押し出して成型することができるので多量生産には打ってつけの加工性を示す。

工業材料ではそれを用いて製品を作る場合、その要求される形状や性質に共通的部分が多いことが一般である。このようなことから材料の規格化が行われ、材料形状も板・膜・フィルム・角柱・型棒・丸棒・管・線など半ば成品品として作られる。このような材料を作る場合またこれを用いて所要の形状を作る場合に用いられることが多いのが、その塑性を利用した変形の加工である。変形加工は鉄鋼や熱可塑性プラスチックなど十分な塑性を有する材料を用いての賦形にひろく用いられる加工法であるが、木材は一般に塑性が少ないので、特別にはアンモニア処理などによる改質加工によってなされるが、一般には熱と水分を充分に与えての曲げ木の手法が採用しうる位で、変形加工はあまり用いられない。

4・2 表面加工

必要形状に作られた材料表面はふん囲気によって影響を受けて変化するのが一般である。ふん囲気によ

って表面性状が変化することは好ましくないのが通例で、これを防止するために表面処理がなされる。しかし表面処理はこうした消極的な目的だけでなく、更に積極的にその材料の表面性能をより良くするために、また要求される表面機能を満足するためにもなされる処理である。

ふん囲気の最も普通なのは空気と光である。空気とはその約21%を占める酸素とかわかり、酸化しやすく、更に紫外から赤外にわたる波長の電磁波の混合した一般の光は、短い波長の紫外線の影響が著しく、有機物であるプラスチックや木材は変色など劣化を起す。つぎに一般的なものは水である。水は液状として最もすぐれた溶媒であるのみならず、水蒸気として空气中をはじめ他の物質中などいたる所に存在して、よく材料中に浸透し、鉄鋼には錆びを生じさせ、木材やプラスチックには吸着して膨潤させ、脱着して収縮させ、強度をはじめ、各性質を変化させるなどの影響を与える。

材料は空気・光・水分に接するのみならず他の物体と接触して圧力を受け、相対すべり運動で摩擦により摩擦し、熱を受け、電気に接しそして酸やアルカリなど各種の薬剤とも接することがある。

以上のようなふん囲気との関係を絶つのが表面処理であり、そのためには表面に皮膜を造ったり、塗装をして被覆を行い、また表面硬化などの改質をしたりする。

製品は、第一には機能が充分満足されて性能がよくなければならないが、第二には見た目に良くなければならない。品物に対する感覚を主として左右するのは表面性状であり、対人間関係が問題となる場合は決定的に大切な点である。如何に性能がよくても見た目に悪くてはその効用を如何に強調しても、製品価値が下るのが通例である。五感のうちで味覚・聴覚は別とし、嗅覚に関しては悪臭は論外としても無臭で充分であるが、美観と感触とは大切である。表面加工により、より美しくすることは色と模様にかかわり、感触をよくすることは表面粗さと熱伝達にかかわる。

鉄鋼やプラスチックが無臭であるのに対し木材には臭いがある。木材の臭いは概ね芳香であるが中には悪臭を放つものがある。

木材の表面は美しく柔かく温かく、感触は大変よいが、傷つきやすく、汚れやすい。酸やアルカリなどによってそう強く犯されることはないが、水蒸気は出入りが容易で膨張収縮を繰返すことになり、狂ったり、割れたりする原因となる。放射線処理などによってその主成分であるセルロースやヘミセルロースの親水性をなくしたり、高分子物質を注入して水分子の喰いつく間げきをなくしたりする本質的な対水分処理が研究

されているが、最も簡単なのは浸入を表面で防ぐために塗装することである。しかし塗膜で被覆することによって木材のもつ色や、模様が覆いかくされてはいけなないので塗装に工夫が必要となる。さらに木材は細胞構造物であるが故に表面には無数の凹凸が必然的に存在する。その凹凸は 1000μ にも及ぶものもあるが、一般には $1\sim10\mu$ と考えてよい。これに対して鉄やプラスチックは稠密で表面の凹凸は加工の精度を表すと考えてよく、とくにプラスチックはなじみやすく自己潤滑性を示す特長がある。

5 加工の諸問題

5・1 不均質性

S：木材は鉄鋼やプラスチックに比較して大変不均質であるというより、こんな不均質な工業材料は他にないのではないのでしょうか。

O：天然の材料だからいたし方ないにしても、これを工業材料として使うからには、利用する場合また研究対象とする場合、どう扱っておられるか伺いたい。

S：一口に木材と言っても、軽いバルサやキリから重いイスノキやリグナムバイタまで、スギやヒノキもあればナラの類やブナの類もあるという具合に、一般に有用材として使っているものでも 300 種を越え、鉄と言っても各種炭素鋼・各種鋳鉄・各種合金鋼などあるのと同じです。これはプラスチックについても同じですね。したがって当然ながらこの樹種でくくることを第一にします。

第二には同一樹種でも産地・樹令・採取部位（一本の木のどの部分から切りとったものか）など生育条件が違ふと性質が異なりますからこれらの生育条件を揃えることです。それには目安として年輪幅とその晩材率（年輪のうちで夏から冬にかけて成長した目のつまった色の濃い部分の占める割合）をとります。これは鉄鋼やプラスチックで製造条件を一定する——メーカーが同じである——ということと同じではないのでしょうか。

K：プラスチックも一口にプラスチックと言いますが、現在普通に使われているものでも、木材の樹種に相当するものが 50 種類位あり、大きく分けますと、主成分の高分子の構造に基づく性質として、熱可塑性のもの・熱硬化性のもの・耐熱性のものとに分けられます。さらに木粉・紙・布・ガラス繊維・マイカ・アスベストなどを充てん複合したものが夫々にあり、比重についても発泡させたスチレンフォームの 0.02 から弗素樹脂の 2.2 までひろがり、鉄よりは遙かに軽く木材よりいくらか重いというところでは、唯同じ種類でもメーカーが異なると成形した場合外部と内部で材質が相当に違うということがあり、丁度木材で産地が違えば同じ杉でも材質が相当に違

うとおっしゃるのと同じです。

O：鉄鋼でも製造条件を同じにしてもメーカーが違えば少々の材質の変化はあり、21 世紀になってもプラスチック 5% のばらつきは避けられないだろうと言われていますが、それぞれ規格で規制できる程度です。しかし木材ではそうはいかないでしょう。

S：木材では外観・寸法・形状・試験法などについての規格はありますが品質規格はありません。それはこうして同一樹種・同一生育条件と同じような材質のものを揃えてみても一般的に言って 2～3 倍のばらつきが品質に出ることを覚悟しなければならないからです。しかもこれは欠点（節・あて・やにつぼ・もめ・目切れなど）のない健全材についてそのようなのです。ですから工業材料として発展するためには素材のままではなく合板・集成材など加工度を進め品質のコントロールのできる人工的な色の濃い木質材料へ移行すべきですが、そうすればするほど木材の魅力—工芸性—が失われることになります。工芸性というのはある意味では不均質性ですから、不均質なのが木材の特色と言うべきかも知れません。これでは結局木材はどっちつかずの材料と言われるわけですが、勿論量的には工業材料として使われるのが大部分であることは言うまでもありません。（表Ⅵ）

木材の場合不均質性で忘れてはならないのは含水率です。材中の水分の量とその分布状態で全く同じ

表Ⅵ 木材の用途別利用割合（原木換算）

建 築	紙	建具・ 家具	梱 包	土木・ 建設	そ の 他	合 計
38	20	8	6	5	23	100%

〔下表（林野庁監修，木材需給と木材工業の現況—昭和51年版—，林産行政研究会）より試算〕

原木使用割合（Ⅰ—3 表より—昭和48年—）

製 材 用	パルプ用	合 板 用	そ の 他	計
57.5	25.8	14.5	2.2	100%

用途別製材品出荷量割合（Ⅵ—10 表より—昭和48年—）

建築用材	土木・ 建築用	仕 組 板 梱包等用	家具・ 建 具	そ の 他	計
75.9	4.0	7.9	7.4	4.8	100%

合板出荷割合表（Ⅷ—2 表より—昭和48年—）

土木・建築	家具・ 建 具	パレット 梱包	そ の 他	計
56.4 { 建築用 39.4 (筆者) 土木用 17.0 (推定) }	28.3	3.1	12.2	100%

原木（製材用 57.5%，合板用 14.5%）の廃材 30% 使用割合推定

チップ用	小 物 用	燃料その他
30	20	50

木材でもその性質は大きく変化します。これは鉄鋼で、炭素量で性質が大きく変るとよく似ているので、種類が違う材料として扱うべきかと言うことになりそうですが、含水率は外気との相対関係で簡単に変化しますので、成分と言いつつその規制がむづかしく、一面不均質の因子と考えねばならない点です。一番確実なのは全乾状態（水分を追い出せるだけ追い出した状態）を基準にして比較することですが、全乾状態は實際上維持でき難く実用的でないため、外気の水分と平衡した状態即ち平衡含水率状態を基準にしています。ところが外気状態は一定に保ちうる保証はないので、夫々の国で平均的な平衡含水率を定めこれを基準含水率としますが、我国では $15 \pm 2\%$ を基準としています。こうした点からは鉄鋼での炭素量より、熱処理条件と似ていると言うべきかも知れません。

O：しかしそれは試験・研究の場合に言えることで、節がない、含水状態が一定など実用の柱や板などではとても確保できる条件ではないでしょう。

S：そのとおりですが、極端な場合は別として、節や含水状態のばらつきなどの状態は、大きな材料ではまた平均的にほぼ同じとみうるようにばらつくもので、丁度す法効果的な考え方で処理すればよいと考えています。

K：プラスチックではやはりこうした点でも丁度鉄鋼と木材の中間にあると言えます。フェノール樹脂とかポリアミド樹脂とか言いつつ、これはやはりグループの総称でして、丁度スギだとかラワンだとか言うのと同じです。ポリエチレン樹脂と言っても分子量によって密度が違い機械的強さが異なり、またその結晶度によって性質が大きく異なります。また後述することがあるでしょうが、例えば成型加工の条件によって同じ組成のものでも性質が異なります。更には、当然のことと言えばそれまでですが、強化・複合のための充てん剤は勿論のこと添加剤によっても影響されます。すなわち木材と違って、鉄鋼と同じで制御しようと思えばできる因子なのですが、一般にはされずに、木材ほどではなくても、フェノール樹脂と言っても色々あると言うことになります。

O：やはり鉄鋼とは随分違いますね。実は鉄鋼を切削する場合に現在その不均質性が被削性 (machinability) の点で問題になっているのです。例えば構造用合金鋼の一つに快削鋼と言うのがあって、快削鋼は強度的には他の鋼と差がないのに何故切削しやすいのか。それは切削工具で局所的に強い力が加わった場合、鋼中に微小量添加されて分散している S, Se, Te, Pb, Bi などの近傍に微小な空げき

が発生し、この切欠き効果によって切削抵抗が減少することがわかっています。

S：それは 1μ オーダのマイクロな不均質問題で、やはり木材とは桁が違いですが、実は木材にも勿論マイクロな不均質はあります。木材は構造的に巨大な高層鉄筋コンクリート造りの建築物にたとえられるわけですし、部屋に相当する細胞腔 (10μ のオーダ)、窓や通路や出入口に相当する壁孔 (1μ のオーダ)、壁のなかのコンクリートの空げきに相当する膜壁内のマイクロな空げき (100Å のオーダ) とマイクロからマクロまで大小さまざまの空げきから成立っている所謂多孔質というのがまた大きな特質でして、マイクロにもマクロにも、とても均質とは考え得ない物体です。つまり木材の成分はセルロース、ヘミセルロース、リグニンが95%以上を占める細胞壁実質だけでなく更に水と空気が重要な成分なのです。細胞壁実質だけの比重はどんな木材でも1.50とほぼ一定で、真比重と呼ばれ、細胞壁内のマイクロな空げきだけを、即ち空気だけを考えに入れるとこれが0.7~1.1とばらつきはじめ、細胞壁比重と呼ばれています。これが細胞腔まで入れると即ち木材として言うならば0.13~1.30とひろがります。1.3と1.1より重くなるのは腔中に樹脂など特殊成分（主三成分以外の成分）が多く存在することがあるためで特殊なものに限られますが、大変乱暴な言い方をすれば比重を一定にすればどんな木材でもその性質は、2~3倍のばらつきを考えるならば同じだと言うことになります。ところが更に一つここに大きな問題が出てきます。それは壁と空げきの分布の仕方、細胞の配列の仕方が規則性をもった場合、2~3倍でなく20~30倍も性質が異ってきます。即ち木材の異方性の問題です。

5・2 異方性

O：その異方性ですが、これは大変な特長というか欠点というか大問題ですね。プラスチックなど複合が簡単なのでわざわざ異方性をもたせてその特長を發揮しているようですが、

S：異方性もまた不均質性の一つと言えると思いますが、木材の異方性は性質によって異なりますが2桁(10~30)にもなりますので不均質性とは別扱いになっています。木材は樹木が細胞分裂によって伸長と肥大の二つの生長を同時に長くつづけた結果できた丸くて細長い天然物ですから、方向性が出るのは当然ですが、多くの細胞（導管・放射組織を除く）そのものが伸長方向に細長く、寸法的に樹形とほぼ同じ50~100の異方度を示しますから、どの方向をとっても性質は異ると言ってもよいのですが、その基準になるのが三軸方向〔繊維方向(A-A)、半径

図3 木材の三軸方向

方向 (B—B), 接線方向 (C—C)] です(図3).
上に異方が2桁 (10~30) にもなると言ったのはこのA—A方向とB—B方向あるいはC—C方向との比です。例えば電気抵抗, 熱伝導率で2~3, 力学的性質で10~30となります。

K: プラスチックではお話しがありましたように複合に際して意図的に異方化することもあります, そうでなくても木材と同じように製造過程でどうしても異方性が出てくる性質があります。プラスチックは等方性だろうと思われがちですが積層成型したものでは積層に対する方向で, 射出成形したものでは流れの方向とそれに直角方向とでは性質によっては10近い異方度を示すことがあります。

5・3 切削加工

O: 表Ⅳ, Vを見ると木材の加工にもいろいろなものがあるものですね。

S: いや鉄鋼こそいろいろな加工法があって, さすが鉄だだと思います。木材の加工はやはりまだまだ開発研究すべきだと感じますが, 切削加工がしやすいものですから, あまり他の加工法を考える必要がないということでしょう。

O: その切削加工ですが, 木材の場合, 切削現象は殆んど引張破壊あるいは開き破壊なのと違いますか。つまり刃物が楔の作用だけで木を破壊し, 切りとり分離しているのではないですか。

S: いいえそうとは言いきれません。早速に異方性の問題が出てきますが, たしかに手鉋で繊維方向に削るような場合 (図4の B_0 , C_0 方向) で, 掬い角が大きい場合即ちハク離型や折れ型の切屑が出る場合はそうですが, 実際上の加工でこのような場合は割に少ないです。

O: しかしあのベニヤ (単板) はそうじゃないですか。ベニヤがせん断破壊で出てくるのだとすれば, 厚さが切込みより大きくなるし, 第一ばらばらになって品物にならないじゃないですか。やはり引張破壊ですよ。

A_1, A_2 : 木口切削
 B_0, C_0 : 縦切削
 B_{90}, C_{90} : 横切削

図4 木材の切削方向

S: いやそのとおりですが, ベニヤ (単板) は切削して作るものでなく剥ぐ (peeling) ものです。切削とはという定義にかかりますが, 切屑が目的とする製品の場合もやはり切削と言うのか, 国語辞典にも漢和辞典にも「切削」という語は出てきません。"cutting" を英和辞典で, "Schneiden" をあるいは "Zerspanen" を独和辞典で引いても「切削」という語義はありません。「切削」は術語で定義されねばなりません。JIS B 0106 (工作機械用語) によれば切削は機械加工 (machining) と同義で, 各種工作物に対して機械力を利用して加工する作業 cutting とあります。すなわち 切削=機械加工, cutting = machining ということになり, どうもしっくり理解できないので伺いたいところなのです。「切削」というのは "Zerspanen" = cutting by stock removal という意味で cutting や Schneiden より意味が狭く, cutting や Schneiden は「切断」と言うべき語意のように思います。即ち切断のなかに切削や剥ぎとりやはつり (chopping) やこそげとり (shaving) や割裂 (cleaving) やせん断 (shearing) など工具刃先による分離 (trennen), そして分割 (teilen) の加工があるのだと考えています。

O: お説ごもっともですが, 鉄鋼ではそのおっしゃる peeling や chopping や shaving や cleaving などの加工はあることはあっても木材のそれとは異なりますから cutting と言えば切削しかなく, shearing はありますが, これは塑性加工のプレス加工に入れていますから JIS のような定義になっています。それはそれとして, もとに戻ってそのベニヤを剥ぐのは繊維方向 (B_0, C_0) に切刃線を動かすのではなく, 切線方向 (B_{90}, C_{90}) に動かしてなお開き破壊で分離していくのでは 아닙いか。

S: 繊維方向に剥ぐ縦切削という方式もありますが, 大方はおっしゃるとおりの横切削の方式で剥いでい

きます。いずれも横引張破壊の強度が非常に小さい（縦引張破壊の $1/15 \sim 1/20$ ）ことを利用しての木材独特の分割加工法ですが、縦割ぎと横割ぎと異なるのは、切屑いやその製品たるベニヤが刃物の掬い面に沿って滑って出やすいか否かにかかるわけです。すなわち分割された部分がどちらの方式の方が変形しやすいか、抵抗少く工具面をすべって乗り越えていくってくれるかです。それは勿論横割ぎの場合です。しかしこの場合変形しやすいがその結果としての分離破壊もしやすいのでベニヤの裏割れなどをどうして最小限にいくとめるかが問題です。これが切屑と製品（ベニヤ）との違いです。一般の切削では刃物角が少くとも 45° 位あるのに対し、ベニヤを剥ぐ場合はその半分 22° 位にし、さらに普通 15° 位ある逃げ角を $0 \sim 2^\circ$ 位にして極端に掬い角を大きく（ $65 \sim 70^\circ$ ）して、更にノーズパーと言って掬い面側と反対側のベニヤの表側を分離点付近で抑えつけて、裏側に引張りの力ができるだけかからないで曲っていく一変形する一ような作用をさせます。

O：それでは引張破壊でなくせん断破壊による木材の切削というのはどんな場合ですか。

S：ベニヤの横割ぎの場合、逃げ角を充分に（ 10° 以上）とり、掬い角を 20° 位まで小さくしますと完全にせん断破壊で切削さればらばらの切屑（せん断型）が出ます。しかし実際に多くなされる切削加工——鋸挽き、回転鉋削り、錐もみなど——では双方が混在しているのが実状でして、切刃の進行方向も繊維方向など三軸方向に対して一定方向にのみ進むわけではありませんので混とんとしていると言わねばならず、切屑もハク離型・折れ型・せん断型に更にむしれ型、挫屈型などが加わり複合します。木材についても二三切削機構を論じたものもありますが、夫々仮定の上に立って一方向ずつの場合について論じたものでまだまだ研究を押しすすめる必要があります。

K：プラスチックの切削もまだまだ研究しなければなりませんので、現在は木材や鉄鋼の切削における経験と技術にたよってやっている面が大きいのです。しかも一口にプラスチックの切削と申ししてもゴムのような粘弾性を示すものからガラスや鋳鉄のようなぜい性を示すものまであり、それが環境温度や切削速度（変形速度）に大変鋭敏であるため大変複雑になります。木材でおっしゃったハク離型のような場合もあれば鋼での流れ型のような場合もあり、鋳鉄でのき裂型のような場合もあります。そして脊分力が0になる「臨界すくい角」が存在します。なお、プラスチックの加工では案外にレーザ加工など特殊加工法が実用される面があります。

5・4 易加工性

O：それはそうと木材は切削加工がしやすいのでうらやましいですね。なんとしてでも、いかようにでも好きなように加工できるでしょう。

S：いやだから困るのです。鉄鋼だどうしてもなんともならぬ。仕方がない。たとえ1億円の機械でも、それがなくなるとなんともならぬ。ところが木材の場合はそんなに機械が高いのなら機械は使わず人海戦術で、手加工でということになります。左甚五郎にはおよびもつかぬが、人手をかけて、木材の欠点・くせなど一つ一つ目で見て判断しながら、手で切削した方がずっと良い品物ができるといふわけです。

O：えらい理屈があるもんですね。しかし人件費も高くなったし、一応品質は措くとしてもやはり能率の点で機械を使わざるを得ないでしょう。随分と切削速度も早いようですが。

S：それはそのとおりでして、現在最も能率のよい切削加工は合板の寸法仕上げに使用している丸鋸切削でしょうが、これは3mm厚さの合板を2枚重ねて、切削速度100m/s、送り速度100m/minで連続切断をやっています。

O：それはまた恐い速さですね。鉄鋼とは2桁以上違いますね。それでよく刃物がもちますね。それで一体どんな工具材質を使っているのですか。

5・5 工具材質

S：こうした丸鋸は超硬チップ付丸鋸です。

O：そうでしょうね。どの程度の超硬ですか。

S：K20、K30といったところでCo 6~9%とあとはWCの最も単純な最も強靱なものです。

O：ろう付でスローアウェイにはなっていないのですね。

S：全部ろう付です。日本人の器用さで随分安くできるようになりました。丸鋸以外にも鉋刃など簡単な切刃形状のものは、ほかの工具でも超硬が使われますが、一般にはやはりハイスが主体です。SKHの2種、3種だったものが9種に変わりましたが、唯特異なのは製材用、単板剥ぎ取り用など一次加工の場合でして、SK4、5あるいはSKS5、51などを使っています。これは一次加工の場合は鉄片、砂土などが材中にある可能性があり、切刃が大きく欠けることがしばしばで、その補修を考えてのことと、鋸の場合は歯振出しという特異な歯先加工をする必要からです。この歯振出し加工というのは切刃をたたき曲げたり、押しつぶすのですから、刃物という点から言えば全くべらぼうなことです。木材という軟い、変形しやすい物を切削する場合の特異性と考えられます。

O：それはしかしハイスや超硬のチップの切刃幅を鋸

身厚さより大にしてやればよいことだし、第一炭素鋼では摩耗してとても寿命が短いでしょう。

S：鋸は切削速度が大きいし、ベニヤ刃物は刃物角が20°と鋭くなければならないので、鉄や砂があれば切刃が必ず大きく欠けます。この補修や交換に時間と金がかかっては採算に合いません。しかしおっしゃるように摩耗が早い、ことにある種の南方産材のように材中にシリカ（ SiO_2 ）を微量含んでいたり、繊維が錯綜した材質のものでは甚だしく摩耗しますので、歯先にステライトを盛金することを行っています。これだと補修が簡単で、耐摩耗性もハイスより高いという結果になっています。もう一つの考え方は事前に鉄片や砂や土を完全に除去するという方法でして、完全剥皮機、鉄片検知器などの開発がすすめられています。

O：鉄鋼では超硬でも TaC、TiC を含む P 種や M 種が一般で、更に BN（ポロソナイトライト）、BC（炭化ボロン）など超高压で 3000℃ などという高温での焼結合金が使われボラゾンなどという商品名で出はじめていますが、大変硬く、超硬でも切削できるところまでできています。

K：プラスチックの切削がまた意外に工具寿命で特異性を示します。たとえ超硬でも簡単に摩耗してしまします。これはプラスチックの粘弾性的性質として木材切削と同じように切刃の押し込みによる変形——逃げが大きく、切刃通過後弾性回復が大きくなり逃げ面を強く摩擦するためです。摩擦による発熱そして熱伝導が悪いので熱の逃げ場がなく高温になり、工具の摩耗が進行しやすくなると共に粘弾性が更に倍加されて切屑が切刃にまつわりつくなど特異な現象が発生するためです。もう一つ木材と違って精密加工を必要としますので切込みが 0.1 mm 程度と小さいことによります。切断などの場合は鋸による切断よりは砥粒による研削切断の方がよいことがわかってきました。

S：いずれもやはり強い需要による強力な研究成果ということでしょうが、木材関係でも満足しているわけだけでなく、もっと耐久力のある工具材質についていろいろ要求はあるわけです。しかし木材のような軟いものをなぜ超硬のような硬いもので切削してもなお案外に摩耗するのか、炭素鋼の焼入れで充分ではないのかという素朴な疑問についてどうお考えになりますか。

O：いやそれは、鳥の羽根でも三年こすっていたら石が丸くなるというお釈迦様の教えのとおりで、先程の 100 m/s の速度で 6 mm 厚さのものを 100 m/min の割でこすったらどうなります。

S：ええ一日 8 時間で 1 万 m 位こすることになります

ね。製材なんかですと 5 万 m 位になりますね。

O：そりゃわたをこすっても減りますよ。もう一つは工具切刃表面温度の問題ですね。鉄鋼では冷却剤を使っても局部的に 1000℃ 以上になり、摩耗はすりへるのではなく熔けて相手の材料のなかへ拡散していく熱摩耗（拡散摩耗）や凝着してむしりとられていく凝着摩耗が主体となって、形態的にはすくい面のクレータ摩耗です。木材の場合とは摩耗の機構が違いますね。

K：プラスチックの場合は木材の場合と同じように逃げ面の摩滅摩耗が主体でして、これは先に申しましたように熱による温度上昇からくる材料の粘弾性の発現と、もう一つ添加剤や充てん剤が摩滅剤の役目をしかねないことです。こんな場合は鉄鋼を削る場合より早く摩耗します。

S：おっしゃるとおり木材の場合は逃げ面から掬い面にかけての丸味をもつ摩滅摩耗ですが、刃先角が一般に 45°～50° と小さく鋭く、20 m/s～100 m/s という高速切削ですからチップピング（微小欠損）も馬鹿になりません。更に拡散摩耗とまではいきませんが高速ですし、冷却剤を使用しませんので案外温度の影響が馬鹿になりません。摩耗が問題になる刃先尖端の 0.1 mm というような微細な局所部分の温度は普通の切削の場合でも 300℃～500℃ になっているようでして、これだけでもとても炭素鋼ではもつ管がありません。それにもう一つ樹液による化学摩耗が最近いわれ出しています。

5・6 加工精度

S：プラスチックというのはパイプ、ロッド、板、シート、膜、フィルムなどの成型品があって、しかも切削、切断加工が容易だし、一方ペレットや粉末から加熱・流動・成形も簡単にできるというように、どれをとっても賦形性能の高い材料で、さすが人工の材料だと思いますが、どう使いわけているのでしょうか。

K：成型方法にも表Ⅲにありますように色々あるのですが、いずれにしても金型が必要です。金型が高くつくので多量生産の場合はよいが、少量の場合は適しません。一例ですがプラスチックでブッシュを作る場合の例では図 5 のようになります。少量の場合は成型品から切削加工や接着、融着などによって造り、中量になると自動機械加工により造ります。成型でもう一つ問題になるのはどうしても製品の寸法精度が落ちることです。8 mm カメラの部品程度の必要精度なら可能ですが、これを精度を上げようとするなら金型の精度が非常に高くなければならず、金型の費用がべらぼうに高くなり、いくら精度を上げてもしっかり切削加工にはかからないませんので、切削

図5 プラスチック部品生産費用の比較

加工はやはり大切です。

S：どれ位の精度が具体的に可能ですか。

K：材質、大いさそれぞれにもよりますが、大ざっぱに言ってプラスチックでは、金型成形で1/10mm、切削加工で1/100mmがいいところでしょう。プラスチック製品の精度問題では加工精度もさることながら熱膨張が大変大きいことが悩みの一つです。(表Ⅲ)木材とは逆で吸湿による寸法変化はあっても少いのが通例です。

S：やはり鉄と木との中間というところですね。木材加工ではユーザーが非常にやかましいことを言います。これを満足するには1/1 000mm程度の寸法精度が必要となります。しかしこれは工芸的な意味でして——左甚五郎的な要求で——寸法精度と言えるかどうか分かりません。とにかく表面などに光をあててみて乱反射するようでは、手で触ってみてあたりが悪くては、お気に召しません。しかし構造用材料として実用的には1/10mmはおろか1mm程度の寸法変化が吸湿、脱湿によって日常的に起るので、工業的には1/10mmの寸法精度でよいということになります。これがまた木材加工の悩みといえますか、特色というべき点です。

O：加工精度が1/10mmでよいとはうらやましいですね。鉄鋼では1/100mmが一般的なもので、精密なものは1/1 000mmと言われてきましたが、最近では更に1桁要求の高いものが出ている状態です。

S：木材では今申しましたように湿度による寸法変化が大変大きいのですが、更に多孔体ですから表面の凹凸には、細胞腔の断面に相当して、一般的に1/100mmの凹みはいたる所存在するわけです。こうした構造的な凹凸と加工結果からくる凹凸とは勿論性質は違いますが、やはりこれ以上精度をあげても工学的には無意味だと言えます。鉄鋼でもどうして

1μもの精度が必要なのでしょう。夜と昼、夏と冬とで温度差が10°～20℃位断えず出るのでから無意味ではありませんか。

O：いいえ、熱膨張が一番問題ですが、恒温恒湿状態を維持したり、寸法変化を正確に計算したりしてそれだけの効果を発揮させる必要のあるものが多くなってきているということです。そのためには例えば3 000 r. p. m. する精密旋盤の主軸受の温度上昇を内輪面で2℃までにとどめてほしいという要求が出たりするのです。

S：やはり桁ががいいですね。木材加工機械ではルータと言って主軸が20 000 r. p. m. もする高速運転でくり抜き加工や彫刻加工をやったりする機械がありますが、この軸受で温度上昇許容限度20℃位だと思います。精度に関して木材加工の特異な点は製品精度と加工機械精度にえらい違いがあることです。20 000 r. p. m. もの高速になりますと、軸受の温度上昇、軸受の寸法精度、振動と平衡など精密機械なみの精度が要求され、価格が上がる。価格が上れば機械を使わず手加工でということになります。ところでプラスチックの切削加工には木材加工機械がそのまま使われる例が多いようですが、お使いになって何如が感じられますか。

K：プラスチックの加工機械には成形機など専門のものもありますが、先にも一寸ふれましたように何分歴史が浅いですから、他材料用の加工機械で使えるものはそのまま使うということになりますが、やはり木材加工用が一番多いです。ところが木材加工機械は高速回転の割には機械剛性が不足しているのを感じます。これはさきにおっしゃった製品価値と機械価格との問題からくるのか、プラスチックがやはり木材よりは切削加工がむずかしいためか、多分双方に原因があるのでしょうか。プラスチックは木材と違って一般に繊維構造ではありませんから、粘弾性体でありながら、高速変形に対してはぜい性を示しますので、一寸した振動があっても加工部分が欠けることが多く、加工機械の振動は禁物です。電子工業で多く使われるプリント板はフェノール樹脂やエポキシ樹脂に紙や布、ガラス繊維など入ったもので、その穴あけなどは専用機を造ってNC(数値制御)化し、40 000～80 000の回転数で径1mm以下の小さい穴あけを行っています。

S：先に申しましたルータでは2極の誘導電動機の軸回転数3 600をプーリーで増速して20 000 r. p. m. にして使っているのですが、最近ドイツあたりのものは高周波モータをどんどん使うようになってきました。プラスチックの穴あけの40 000～80 000というのは空気タービンですか、高周波モータですか、

K：どちらも使いますが，高周波モータを使うことが多いようです。タービンはやはりトルクが小さく負荷で変動が多いのでさけられます。

S：そうした場合こそレーザを使うべきかと思いますが如何ですか。

5・7 レーザ加工

K：レーザによるプラスチック板の小径穴あけというのは例はあるのですがまだまだ実用例は少いようです。レーザは熱で瞬間的に融解蒸発させるのですからどうしてもその周囲に熱の影響が出てきます。これをどう最小限にいくとめるかというのが一つ、もう一つは複合された材料では一つの成分にはよい条件が他の成分には不良の条件ということが多いので案外に困難です。しかし鋸による加工の場合のような騒音問題はないし、切り口のバリや切屑の処理問題も起らないし、自由自在な曲線加工ができます。更にプラスチックの加工で有利な特異な点は、工具による切削加工では静電気の帯電が起って切屑が表面にくっついて、これを拭きとるときに表面に小さい傷をつけてしまうという厄介な問題がありますが、これが起らないというように、なかなか特長もありますので、先ほども申しましたように、プラスチックでは案外うまく使われています。例えばコンタクトレンズでは眼球表面の呼吸を確保するために、その中心部に極く小さい穴を必要とするのですが、この穴にバリがあっては眼球を傷つけることになるので、このバリ取りは必ず必要ですが、眼球に直接接触する面ですからこれが非常にむずかしいので、レーザを使えばなんなく解決できるという例があります。また他には哺乳ビンの乳首のゴムに穴をあける場合、ワイシャツのボタンの穴あけなどに実用されています。

S：プラスチックではそんな簡単な加工でもそうした必要性和数が多いことで使われるのでしょうか、木材ではどうしてもレーザで加工しなければならないというものは一つもないし、レーザでやった方がよいというものは今のところ欄間のような複雑なくり抜き加工、彫刻といったところ位しか考えられません。これはやはりイニシャルコストと能率という点からの制約です。

K：レーザで彫刻加工をした見事な木製の灰皿を見ることがありますが、能率をあげるためには貫通させないで表層に焦点をしばって速いスピードで筋傷をつけて、ガラス切りと同じように、割るという手法も考えられます。

S：放電加工，電子ビーム加工，レーザ加工，プラズマジェット加工，液体ジェット加工，各種化学的除去加工などで木材加工に導入しうる可能性のあるの

は一次加工で液体ジェット加工，二次加工でレーザ加工だけだと思いますが，何分木材は材質が多孔で不均質ですから精巧な方法になればなるほど加工のコントロールがむずかしいという難点が出てきます。自動化機械の導入がなかなかむずかしいのです。

5・8 加工の自動化

O：自動化の問題をとりあげましょう。鉄鋼の加工は今もっぱらこの方向に向かって走っています。切削加工のような自動化の困難な加工も NC 工作機械の出現で加工が自動化されたばかりでなく手動操作よりも高精度で加工費を安くすることができるようになり，電子計算機と結合して群管理 (DNC) システム，また 1 回の取付で工作物の数個の面に，種々の作業（例えばフライス削り，穴あけ，中ぐり，ねじ切り，旋削など）ができる自動工具交換機構を備えたマシニングセンタなどが完成されました。ところが鉄鋼の切削の自動化ではたと行きづまるのは，本質的でない，なんでもないことのように思える，切屑の処理とバリ取りの問題です。鋼などの切屑はチップブレーカなどで粉碎しにくく長くなって工具に巻きついたりして自動的な処理がむずかしいのです。この点木材の切屑は集塵機で吸えばよいのですから楽なものですね。

S：これは逆に考えていました。木材の場合はなるほど簡単に集塵機で吸えるのですが，微粉が多いこと，しかも微量ながら特殊成分を含む木材があることなどから，騒音とは異った労働衛生問題を起しています。それに嵩が非常に高くなる（元の体積の平均 3 倍）ことです。

K：プラスチックではもう一つ先の廃棄処理で困っているわけです。腐らないし，燃やせば有毒ガスが出るし，鉄のようにスクラップで元に戻すわけにもいきませんので，一つの泣きどころです。

O：木材の微粉は衛生上また粉塵爆発など安全上問題でしょうが，大量に木屑が出るので困るというのはどういうことですか。

S：天然物ですから歩止りが悪いのは仕方ありませんが，その鋸屑や木粉の利用法が充分開発されておらず，棄て場がなく，不法投棄で公害問題を起している始末です。

O：それはおかしい。絶好の燃料ではないですか。このエネルギー不足の世の中でよくわかりませんね。

S：第一は量的問題です。嵩高く多くて困ると言いましたが，変な言い方ですが，多いと言っても 1 箇所から出る量はしれているのです。燃料としてもまた他に利用する原料としても工業的に扱うには嵩高がわざわざして輸送集荷の費用に値しないということです。第二は質の問題で，寸法的に揃ってないこと，

水や土や砂が混ってしまっていることが多いことで、機械的なコントロールが効かなくなっていて、工業的には利用し得ないわけです。現在住宅改築現場でよく見かける木材の山と同じです。芯まで完全に乾燥した大きなヒノキ材ですが、それには釘が打っており、配線がまつわりついており、壁土がついており、さすがたまっているのです。一度屑として扱ってしまったものは役に立ちません。先程申し上げましたベニヤは切削するのでなく剥ぎ取るのだという考えに立って、鋸屑が出てくるのだという考えでなく、燃料を造っているのだ、50年間枯していた材を炉から取り出すのだという考えで処理したものでなくては役に立ちません。

O：話しがそれていきましたが、加工の自動化の問題に戻って、もう一つの、切屑と同様になんでもないように見えて自動化で困るのはバリ(まくれ—burr)取りの点です。これにどうしても人手が必要なのです。このバリを自動的に焼いてしまうことが考えられているのですが。

K：その点レーザではバリが出ないばかりか入口、出口が熔けて丸く角がなくなって都合のよいこともあれば悪いこともありますね。

S：木材の切削ではバリに相当するものも出ますが、逆目による毛羽立ち、逆目ばれ、目違いなどの欠点、切削面に現れ、更にスニップ (snip) 俗にがったと言って被削材の加工の始まりと終りの両端で切削量が過大になってしまうことです。これは周端の影響によるものでどうしても手加減が必要です。木材加工の自動化でより問題になるのはやはり不均質性です。繊維走行の乱れ、あて、節、入皮、かなすじなど各種の欠点、不均質のため一本調子で加工するわけにはいきません。しかし先に申しました粉塵、あとに述べます騒音など労働安全衛生問題、公害問題などから木材加工の自動化にはだんだん加速力がかかってきております。ところがここでもう一つ厄介な壁があるわけでした、それは前にも申しましたようにコストの問題です。木材加工はあらゆる点ですぐコストが頭を出すのが特異性の一つなのですが、1977年3月に Calif. 大で開かれる 5th Wood Maching Seminar の Keynote Address が何と What's the Hurry?—It's Only Money なのです。

O：そりゃ木材加工に限らず何でも結局はコストの問題にいきつきますよ。

S：木材の場合はいきつのでなくてすぐに出てくる。あげくの果てには、他の材料で間に合せようということになる。一つの性能だけを比較すれば他にすぐれた材料がいくらでもあるのですからそちらへ走りやすい。前にも言いましたように木材は不均質で一

様でないのがよいところで、加工が自動化できないところによいところがある。そもそも木材は工業材料の性格に欠けている。機械的には——様には——扱えるものではない。自動化にはなじまない。そんなに自動化に金をかけてもそれほど効果があがらないということです。

O：えらい開き直った話になりましたが、しかし木材加工機械に最近 NC が随分出ているという話ではありませんか、先年 NC のことを統計的に調べていたときアメリカである時期から急に NC の精度が下がっているのに気がついて、よくききただしてみると木材加工用が入ってきたからだとわかったのですが。

S：たしかに木材加工機に NC が急に増えてきました。日本ではすでに 300 台以上出ているだろうと言われています。すべてが国産ですが。

O：それはまたえらい台数ですね。どうもわからないことが多いですね。今の自動化に適しないという話と逆ではありませんか。

S：そう言われると困るのですが、熟練者の職人さんがなくなってきた木材加工では複雑な加工品の多品種中量生産に NC がえらい都合がよい——コスト的にひき合う——ので急に増えた。最終加工精度は 1/10 mm でよいということです。

O：なるほど、金属加工の方では複雑な加工で多種少量生産で精度が 1/1 000 mm を要求されるととても手加工の手には負えない。今や熟練工などは全然あてにするわけにはいかない。すべて機械的に自動化して精度を上げざるを得ない。まさに NC の独壇場というもの——航空機関係、大型ディーゼルエンジンなどがその例です。

自動化で更に問題になるのは機械に自己修理機能が要求されるが、今のところこれが不能な点です。

つまり自動的に働いている機械が何かのことで事故が起ればストップするような安全装置は作動するようにはできるが、その事故を自動的に修理して再び作動するという機能を満足することができないという点です。夜間事故が起れば朝まで——修理班が出動して修理をするまで——機械はストップしたままということになります。この点人間はさすがに立派にできていますね。大概の病気がじっと安静にしていれば自己修理機能が働いて病気が直りますからね。

S：そうなれば人間は不用ですね。無人化工場で、必要なときにボタンを押し、不用になればまたボタンを押すだけということですね。一体それでよいのでしょうか。どうもパカチョンカメラ方式というのは人間を馬鹿にした考え方で気に入りません。専門家——職人は不要ということですね。それでは木材が泣きます。

O: いや, 私も手造の味の大切なことは知っているつもりですが, これからは熟練工を求めようにも, 求められなくなるし, それにひどい環境での人間の仕事をなくさなければならぬので加工の自動化は必至だと言っているのです。第一, 先に言われたようにあの物凄いい音のする, 危険の多い木工機械でいつまでがまんしてられますか。尤も鉄鋼の切削加工では音の変化で工具寿命を判断しようとする研究がすすんでいます。

S: 木材切削でも経験的判断の基準に音を結構とり入れています。職人さんの判断は鋭いものです。しかし木材切削加工機械ではやはり騒音が問題です。

5・9 騒音

O: 公害もさることながら労働衛生上も大変でしょう。

S: そのとおりでして, 当初は騒音公害問題が大変でしたが, これは工場が小規模で敷地が狭く, 近くに住居があり, 工場建物が貧弱であけっぴろげでどこへでも音が出ていくためだったのですが, これは極端に言えば, 金をかけて工場を密閉してしまうか, 広い敷地を確保すればすむことですが, これと逆比例して作業者の安全衛生問題はきびしくなってきました。これこそ大変な問題なのです。作業者の耳の位置で 100 dB(A) を超えることは珍しくないのですから。第一は原理的に騒音を出さない加工法を採用すること——レーザ加工のうたい文句の一つであるように——ですがこれは大変なことです。こうした方向の対策が全然されていないことはないのですが, やはり弥縫的でしかありません。例えば丸鋸の出す騒音ですが, これはいささか奇妙に聞こえましょうが空転時の方が切削時より大きい音を出すのが通例です。高速回転により鋸歯で空気が規則的に掻き乱され, 渦ができて空気が振動します。周速が 20~100 m/s という高速になりますから, これでも大変大きな音になりますが, この振動(音)が鋸の高次の固有振動を誘起し同調共振して非常に高い(3000 Hz 以上), 大きい音(discrete noise)を出します。日本語で金属音などと言っていますが, これを消すのに鋸にスリットを入れて固有振動数を乱したり, 歯のピッチを乱して誘因である渦の規則性を乱したり, 空気を吹きつけて渦を乱したりして共振を防ぐ方法を見つけています。丸鋸の場合, 挽材をはじめますと当然切削による音は出ますが, 鋸身の共振状態は材にはさまれてダンピングさせられ空転時の高い大きい音は消えます。しかし切削時の音が 90 dB(A) 位はあるのが普通ですので尚更に対策が望ましいです。

O: どれ位を騒音規制の目標にしていますか。

S: ご承知の米国の OSHA を満足するための OSHS

が世界的に一般に使われていまして, 西ドイツ, スウェーデン, 英国あたりでも同じ規制をしています。日本場合は未だ定っていませんが, 当然同じがあるいはよりきびしくなるかも知れません。この規制によりますと例えば全音圧(OA)で1日8時間90 dB(A) ですが, これは作業者の受ける音ですから, 1個の新しい機械ということになりますと80dB(A)位を目標にしなければならないと考えています。

O: 具体的な解決策はあるのですか。

S: 一つは原理的などと言いますか, 音源対策でして, 回転数を下げて音を小さくすることです。これは空転時の音が支配的な場合は大変有効ですが, 切削時の音はあまり下りません。具体的には, 例えば手押鉋盤(鉋胴径100 mm) 5000 r. p. m. を4000 r. p. m. にするだけで空転時には10 dB も下りますが切削時は2~3 dB です。ただこの方法は音を出すなということは能率を下げよということ更には仕事をするなということにつながる恐れがあります。

もう一つは, そして最も有効で簡単なのは囲いをするです。発音部を囲って音を封じ込めてしまうことです。ところがこれでは作業がしにくいという問題が出ますので, 囲いでなく, 機械そのものの構造をに密閉型にすることです。加工材の送入口と取出口以外はすべて密閉された形態にすることです。これによって少くとも10 dB(A), 更に囲い内部に吸音対策などしますと15~20 dB(A) 位は下げることが出来ます。

囲いをするとか密閉型にすることのできる機械は良いですが, 製材用帯鋸盤のような大型の製造機械になりますとそうはいきませんので, これは作業者が防音ボックスの中に入りこんで, 工業テレビジョンなどを使って遠隔操作をするという方式になります。結局自動化して工場を無人化する方向を目指すことになります。これは安全の点でも望ましいことです。

5・10 機械の安全

O: 機械学会では工業技術院からの委託をうけて1976年から“機械の安全に関する委員会”を作って研究・対策を行うことになりましたが, そこで各種機械のうちで最も危険性の高い機械として建設機械・運搬機械・木工機械・農業機械が挙げられているときいていますが如何ですか。

S: 最も危険性が高いというのではなく, 最も事故件数が多い出ている機械ということですが, 木材加工機械で事故が多いのは, 機械も危険性が高いものが多いことも確かですが, 製材所が全国で2万5千, 木工所(家具・建具・雑貨の工作)が3万と数が非常に多いためなのですが, 作業者の不注意によるもの

が殆んどです。しかし問題はなぜ作業者が不注意になるかという点です。第一は作業者の適性の問題です。第二は作業危険に対する訓練の問題、第三は作業危険に対する環境管理そして第四は機械の対策です。

O：それでは悪いのは作業者で機械ではないというように聞こえますが。

S：いや悪いのは作業者でも機械でもなく、管理者・経営者ではないでしょうか。不適性の作業者を雇い、十分な教育・訓練をせず、作業環境・管理体制を整えず、危険性のある機械を使わせることがいけないのです。

O：これはまたえらく手厳しいですが、現実にはそうは言っていられないわけでしょう。

S：そのとおりでして、そんなにいえば何もできないが、それでよいのかということになります。早急に対策を立てる必要があります。適性のある作業者を集め、十分な教育・訓練をし、作業環境・管理体制を整え、危険性のない完全な機械を使って木材加工をするにはどうすればよいのか。勿論これは程度問題ですがやらねばならないことが山ほどあるわけですね。

O：危険性のない木材加工機械というのだけを取りあげましょう。

S：いや危険のある機械というのは論外でして危険性のない機械などあり得ないでしょう。というより機械はもともと危険なもの、人間は機械を使うつもりで作りますが、作ってしまえば機械に使われる、下手をすれば咬みつかれ怪我をする。4トントラックに10トンの荷を積みば車軸が折れ、ブレーキ距離が2.5倍に伸びるわけですが、直径24時の丸鋸で割箸を挽き割ったら指も一緒に切断する危険があります。適材適所といいますが、大きな機械もいけないし、小さい機械もいけない、適当な機械でなければなりません。大は小を兼ねません。

木材加工機械で件数の多いのは、やはり一般に広く多く使われている丸鋸機械類です。次いで鉋盤の種類です。これらは目にもとまらぬ高速で回っているので、切刃部分が目に入らない、しかも手を作業上近づける必要があるという悪条件が重なるものです。

木材は不均質ですから、思わぬ抵抗の激変が生じる。しっかり保持して送っているつもりが、軟質のためはずれてしまう。一体だと思っていた被加工材に断層があって加工中に割れたり、内部応力の解放で思わぬ変形が発生する。不均質と言うよりも不安定と言うべきかも知れません。一瞬の気のゆるみも許されません。

そんなにむずかしい作業なのに、零細企業で賃金

が低く、適性の充分な作業者を集めることができない。本当にむずかしい問題をかかえているのです。

5・11 ユーザと機械

S：木材加工で困ることの一つは一般的に言ってユーザの機械的知識の不足です。木材相手だから、木のことは知っているが機械のことは知らん、結果が悪いのは機械が悪いからだ。メーカが悪いからだ、ということになる。これは木材加工が本格的な工業生産の場で行われるより、まだ小企業的な加工が多いことを意味すると考えられます。

O：それはやはり前に言われた加工にどうしても機械を使わねばならないということがない。手加工でもなんとかなる、むしろその方が巧くできるということからくるのでしょうか。

S：機械加工では木材のもつ工芸性が生じない。手加工のできる職人さんはなくなる。工芸的な味のある木材への要求は増大する。ところがそんな都合のよい機械はない。したがって新しい機械・外国の機械には全く弱い。新しい未知のものならなんとかなるという期待が強い。

K：その点プラスチックは日常材料であり身近で多く使われるわけですが、そうした悩みはありませんね。全くの人工材料であり、多量生産され、安くて美しく清潔で、品質が一定でと、そもそも工芸性など期待することははじめからないからでしょう。

S：プラスチックが戦後非常に勢いで進出し、工業生産のきく有機材料として、木材・紙の分野を圧迫したものですから、木材関係者はプラスチックの勢いに相当おびえていたのですが、公害問題と石油ショックによって、プラスチックの勢いも一服の体で落ちついたようです。

K：木材の良さが見直されているわけですね。非科学的な言い方ですが、“良さ”はやはり木材が一番ですよ。プラスチックも合成木材などと言って、どうしたら木材に似るか一生懸命です。木製家具が見直され、キャビネットが木製に逆戻りし、“woody”などというテレビコマーシャルが出る機運ですよ。

O：全くそのとおりで、鉄筋コンクリート壁の研究室に一筋の“なげし”がはりめぐらされるだけで部屋がどんなに落ち着くことか。住居はやはり木造が一番ですよ。土地がないから一戸建ができない。中高層になる、仕方がないから鉄筋コンクリート造りの住宅に住むというわけです。

S：たしかにその気運はあり、木材のもつ工芸的性格が生かされるべきですが、それには 3 材料の特性の項に記してあるように100年位生育した木材でなければなりません。実は木材の用途は現在表Ⅵの如くでして、そうした方面の用途は量的には10%ほど

にすぎません。やはり用途の大宗は建築・建設等関係の50%, 紙の25%でしてそのような良さでなく, 軽くて強くて, 大きくて, 安くて, 加工しやすいという特長を安直に利用しているということで, その工芸的性格を生かして使うことと工業材料として, そうした特性を殺してでも, 発展させることとどう分離するのか, 二股かけるのか, 我々の悩みもまた大きいわけです。もう一つは“その他”が大変多いことです。これには大変いろいろな使い方を含めているのですが, 本当に有効に利用しているのは極くわずかでして, 燃焼・遺棄などとして処分されているものが殆んどです。これの有効利用, すなわち木材(原木)の完全有効利用が現在の最大のテーマでもあります。

参 考 文 献

- 1) Alexander, W. O., Scientific American, **217**, No. 3, 254 (1967).
- 2) FAO, “Wood: World Trends and Prospects” (1976) FAO
- 3) Franz, N. C., “An Analysis of the Wood-Cutting Process” (1958) Eng. Res. Inst. Pub. Report, Ann Arbor
- 4) Mckenzie, W. N., “Fundamental Analysis of the Wood-Cutting Process” (1961) Dept. of Wood Technology, Ann Arbor
- 5) 土肥 修, 横山正夫, 日本機械学会論文集, **40**, 3523 (1974); **42**, 1937 (1976).
- 6) Okushima, S., *et al.*, 木材誌, **15**, 197 (1969).
- 7) Kirbach, E., and S. Chow, FPJ, **26**, No. 3, 44 (1976).