



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道内造林木のパルプ化に関する研究：第1報 トドマツ，ヨーロッパトウヒ，ストローブマツ間伐材について
Author(s)	高木, 均; TAKAGI, Hitoshi; 今野, 武夫 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 38(2), 265-284
Issue Date	1981-09
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21060
Type	departmental bulletin paper
File Information	38(2)_P265-284.pdf



北海道内造林木のパルプ化に関する研究*

第1報 トドマツ, ヨーロッパトウヒ
ストローブマツ間伐材について

高木 均** 今野武夫** 香山 彊**

Pulping of Plantation-Grown Softwoods in Hokkaido

Part 1. Pulping of Thinnings of Saghalien Fir,
Norway Spruce and White Pine.

By

Hitoshi TAKAGI**, Takeo KONNO**
and Tsutomu KAYAMA**

目 次

1. 緒 言	265
2. 試 料	266
3. 実験方法	268
3-1 化学組成, 容積密度数および繊維形態要素	268
3-2 サーマメカニカルパルプ (TMP)	268
3-3 クラフトパルプ (KP)	268
3-4 パルプの性質	269
4. 結果と考察	269
4-1 トドマツ	269
4-2 ヨーロッパトウヒ	273
4-3 ストローブマツ	275
4-4 樹種間の比較	279
5. 結 言	282
6. 参考文献	283
Summary	283

1. 緒 言

北海道における造林の歴史は¹⁾, 古くは藩政時代の本州産スギ, マツにさかのぼるが, 気候の温暖な道南地方に限定されたものであった。明治中期になって全道的にカラマツの造林が

* 1981年2月28日受理

** 北海道大学農学部林産学科林産製造学教室

** Laboratory of Chemical Technology of Forest Products, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

開始され、大正時代にかけて造林の主力となったが、大正末期にはトドマツ、エゾマツの造林技術が確立され、昭和に入ると民有林はカラマツ主体、国公有林はトドマツ主体に分化するようになった。戦後のカラマツの拡大造林に伴い昭和34年に先枯病が大発生し、カラマツ造林に打撃を与え、徐々にトドマツが造林のにない手としての地位を占めるようになった。ちなみに昭和54年度の人工造林面積は²⁾3万haにおよび、トドマツはその69%を占めアカエゾマツ15%、カラマツ12%と続いている。近年までカラマツ主体であった民有林においても、トドマツ60%、カラマツ23%とトドマツがカラマツを圧倒している。

一方、外国樹種の造林³⁾も明治中期に着手されたが、戦前はヨーロッパトウヒを中心に5千ha程度に止っていた。戦後林野庁を中心に積極的に外国樹種導入策がとられ、カラマツ先枯病発生などを背景にして、ストロブマツの造林が昭和33年から本格的に開始され、昭和44年には人工造林面積の4.4%を占めるようになった。しかしその後急速に減少し、現在ではほとんど造林されていない。ヨーロッパトウヒは戦前は外国樹種の代表的なものであったが、立地を選ぶことから飛躍的な造林面積の拡大はなかった。しかし民有林を中心にして、毎年造林面積の1%前後は植栽されている。

現在の北海道における人工林面積²⁾は139万haで、トドマツが50%、カラマツが37%を占め、特にトドマツはこれから増大の一途をたどると予想される。これに伴い大量に生産される間伐材の有効利用は重要な問題であり、その解決に多くの努力が傾けられている。

本研究は上記の問題の対応策の一環として、北海道内主要造林木のパルプ適性について検討を行ったものである。試験は、間伐期を迎えたトドマツとストロブマツ、それに比較的報告の見られないヨーロッパトウヒについて、材の化学的性質、容積密度数および繊維の形態的性質とパルプ化特性を明らかにし、また同一林分における樹木の成長の遅速がパルプ化特性に与える影響を検討する目的で行った。カラマツについては、すでに菊池ら⁴⁾、奥山^{5),6)}などの報告がある。

本研究を行うにあたり、現地調査、供試木採取に関し、北海道営林局技術開発室の川崎舜平元企画官(現青森営林局技術開発企画官)、北海道林務部林業振興課、山本敏夫主任林業専門技術員の御尽力を得た。また実験に関し、本学村木正一技官の協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

2. 試 料

トドマツ (*Abies sachalinensis* MASTERS.) は北海道営林局恵庭営林署恵庭事業区378林班第2小班に植栽されたものから、胸高直径の分布を参考にして胸高直径の異なるものを6本選んだ。その詳細は宮島の材質試験報告⁷⁾に示され、本実験では材質試験の残余部分を用いた。

ヨーロッパトウヒ (*Picea abies* KARST.) は岩見沢市上志文の民有林に植栽されたものより、胸高直径別に3本選んだ。林地は南向き、傾斜15度で、植栽時3,000本/ha、伐倒時約1,400

本/ha であった。

ストロブマツ (*Pinus strobus* L.) は空知郡栗沢町字最上 6 林班 111 小班の民有林に植栽されたものより、胸高直径別に 6 本選んだ。林地は南西向き、傾斜 14 度で、植栽時 2,600 本/ha、伐倒時約 1,400 本/ha であった。さらに隣接地の同年生のトドマツ 1 本を比較のために同時に伐倒した。

伐倒時期は、恵庭産トドマツについては昭和 54 年 12 月 6 日、ヨーロッパトウヒ、ストロブマツは昭和 55 年 8 月 9 日であった。これらの供試木の概要と試料採取部位については表-1 に示すとおりである。

供試木は伐倒直後 2 m の長さに玉切りして、搬入した後、約 70×30 mm の角材に製材してから剥皮した。さらに実験室用チップパーで約 20×15×3 mm の大きさにチップ化した後、気乾状態で保存した。

表-1 供試木と試料採取部位

Table 1. Sample trees and portion of sample log

Wood species	No. of tree	D.B.H. (cm)	No. of rings	Height of tree (m)	Height of sample log (m)	Diameter of sample log (cm)	No. of rings of sample log
<i>Abies sachalinensis</i> MASTERS.	1	6	37	7.9	3.3~ 7.3	6~	12~
	2	10	39	12.8	3.3~11.3	9~ 3	23~ 7
	3	14	44	14.7	7.3~13.3	10~ 3	24~ 7
	4	18	44	15.6	9.3~13.3	12~ 5	18~ 7
	5-I	22	42	16.2	3.3~ 5.3	20~18	30~25
	5-II				9.3~15.3	13~ 3	17~ 3
	6-I	26	39	18.8	3.3~ 5.3	23~21	30~27
	6-II				11.3~17.3	15~ 3	18~ 4
	Ku	15	18	12.9	0.1~ 8.1	17~ 8	
<i>Picea abies</i> KARST.	1	14	40	11.5	0.3~ 6.3	17~10	
	2-I				0.3~ 4.3	23~17	
	2-II	19	43	11.0	4.3~ 8.3	17~ 7	
	3-I	22	44	11.6	0.4~ 4.4	25~18	
	3-II				4.4~ 8.4	18~ 8	
<i>Pinus strobus</i> L.	1	10	18	7.9	0.2~ 4.2	13~ 6	
	2	12	18	8.6	0.1~ 4.1	16~ 9	
	3	16	18	9.2	0.1~ 6.1	20~ 8	
	4	17	18	9.7	0.2~ 6.2	20~ 8	
	5	19	18	9.4	0.4~ 4.4	21~ 9	
	6	21	18	9.3	0.3~ 6.3	21~ 9	

3. 実験方法

3-1 化学組成と容積密度数および繊維形態要素

チップ化された各試料をワイレーミルで粉碎し、40~60メッシュ部分を化学組成分析に用いた。化学組成分析は、灰分、アルコール・ベンゼン抽出物、リグニン、ホロセルロース、 α -セルロースについて行った。

灰分、アルコール・ベンゼン抽出物、リグニンはJISに従って測定し、ホロセルロースはWiseの方法で、 α -セルロースは分離ホロセルロースより求めた。ホロセルロースについては、灰分、リグニン補正を行ったが、 α -セルロースについては行わなかった。

容積密度数は、トドマツのみJISと水銀排除法で測定したが、JISにより求めたものがやや高い値を示した。(表-2)しかし傾向は一致しているため、ヨーロッパトウヒ、ストローブマツについては簡便な水銀排除法を用いた。

繊維形態要素については、未叩解クラフトパルプの繊維長を万能投影機(50倍)で、繊維幅を光学顕微鏡(400倍)でそれぞれ150~200本の繊維から求めた。

3-2 サーマメカニカルパルプ

機械的処理はチップサイズの影響が特に大きいので、前述した標準的サイズのものを選択して実験に用いた。

絶乾200g相当の気乾チップを含水させるために、デンケーター中で減圧、加圧を数回繰返し、水中に一晩放置した。一次加圧解繊はディファイブレーターD型を用いて、蒸気圧1.5 kg/cm²(ゲージ圧、128°Cに相当)、加熱時間4分、解繊時間3分、濃度15%の条件で行った。2次、3次リファイニングはシングルディスクリファイナー(直径12インチ)、プレートNo. 17804-Aを用いて、それぞれパルプ濃度5%、4%、クリアランス0.3 mm、0.1 mm、供給速度150 g/min、100 g/minの条件で行った。

3次リファイニングの後でも粗大パルプが存在したので、8カットのスクリーンを通し粕を除いた。精選率は81~91%の範囲であった。精選パルプのフリーネスはCSF 360~720 m ℓ と広範囲に変化したので、PFIミルを用いてパルプ絶乾30g、濃度10%、クリアランス0.5 mm、叩解圧1.8 kg/cm²の条件で7,500~70,000回転叩解し、CSF 210 \pm 20 m ℓ に調整した。収率はスクリーン通過後に測定した。

メカニカルパルプの場合、通常は繊維のねじれをもどすためにレイテンシー除去操作が行われる。予備実験の結果から、レイテンシー除去はフリーネスの低下とシート強度の増加をもたらすことが認められたが、同一フリーネスで比較すると未処理のものとはほとんど差が見られなかったため、本実験では省略した。

3-3 クラフトパルプ

節などを除いた絶乾400g相当の気乾チップを、4 ℓ 容静置式オートクレーブを用いて活性

アルカリ 20%, 硫化度 25%, 液比 5 ℓ/kg, 温度 170°C, 到達時間 90 分, 保持時間 90 分の条件で蒸解した。洗浄後 8 カットのスクリーンを通した。精選パルプはさらに PFI ミルを用いて, TMP と同一条件で 13,000~17,500 回転叩解して, CSF 370±25 mℓ に調整した。

3-4 パルプの性質

フリーネスをほぼ一定にしたパルプから JIS に従ってハンドシートを作製して, 白色度, 密度, 裂断長, 比破裂強さ, 比引裂強さ, 耐折強さを測定した。

クラフトパルプについては, JIS によりカップー価を求め蒸解度を評価した。

4. 結果と考察

4-1 トドマツ

各供試木の上部から試料を採取したが, 採取部位による違いを明らかにするために, 試料 5 と 6 については下部からも採取した。従って, 成長の遅速による比較の場合は試料 1~4, 5-II, 6-II に関して行い, 採取部位による比較は試料 5, 6 の I と II について行うことにした。

試料の化学組成と容積密度数と繊維形態要素は表-2 に示すとおりである。

化学成分については, 灰分は 0.36~0.50%, 平均 0.42% で, 各試料間に大きな差は認められなかった。アルコール・ベンゼン抽出物は 2.2~3.8%, 平均 2.8% を示し, 試料 2 と 5-I はそれぞれ 3.6%, 3.8% とやや高い値を示した。リグニンは 28.3~30.1%, 平均 29.1% で, 比較的狭い範囲に分布している。ホロセルロースは 69.3~72.1%, 平均 71.0% で, 試料 2 は 69.3% とやや低い値を示した。 α -セルロースは 43.9~46.8%, 平均 45.1% で, 試料 6-I は 46.8% とやや高い値を示した。アルコール・ベンゼン抽出物, ホロセルロース, α -セルロースに関しては成長

表-2 トドマツの化学組成と容積密度数と繊維形態
Table 2. Chemical composition, basic density and fiber dimension of saghalien fir woods

No. of sample tree		1	2	3	4	5-I	5-II	6-I	6-II
Ash	(%)	0.46	0.46	0.41	0.36	0.37	0.38	0.50	0.39
Alcohol-benzene extracts	(%)	2.5	3.6	2.2	2.8	3.8	2.6	2.7	2.4
Lignin	(%)	30.1	29.2	29.8	28.3	29.1	29.3	28.6	28.5
Holocellulose	(%)	71.4	69.3	70.6	71.3	70.5	71.5	72.1	71.3
α -cellulose	(%)	44.4	44.3	45.7	45.4	44.4	45.7	46.8	43.9
Basic density	(kg/m ³)	284	290	267	280	261	265	298	323
		*(285)	(301)	(281)	(294)	(267)	(271)	(313)	(346)
Fiber length	(mm)	1.95	1.98	2.17	2.36	2.22	2.14	2.41	2.30
Fiber width	(μ m)	34.4	34.0	33.0	33.3	36.2	35.2	36.3	33.8
Felting factor (L/W)		56.7	58.2	65.8	70.9	61.3	60.8	66.4	68.0

* () Determined by JIS method.

の遅速による一定の傾向は認められなかったが、灰分とリグニンは図-1に示すように、成長が遅くなるとやや増加する傾向を示した。採取部位の異なる試料については、上部からの試料のアルコール・ベンゼン抽出物が少ないのが唯一の特徴であった。

容積密度数は $261 \sim 323 \text{ kg/m}^3$ 、平均 284 kg/m^3 であり、試料6が非常に高い値を示した。測定値を比較すると、試料6の例外はあるが成長の遅いものほど高い値を示すようである。またJISによる水置換法で求めた場合は $267 \sim 346 \text{ kg/m}^3$ であり、水銀排除法によるものより $1 \sim 23 \text{ kg/m}^3$ 大きい値となったが、その傾向はほぼ一致していた。宮島⁷⁾は地上高の異なる各部位の心材と辺材を分離して、容積密度数の変化を詳細に検討している。その報告によると、心材、

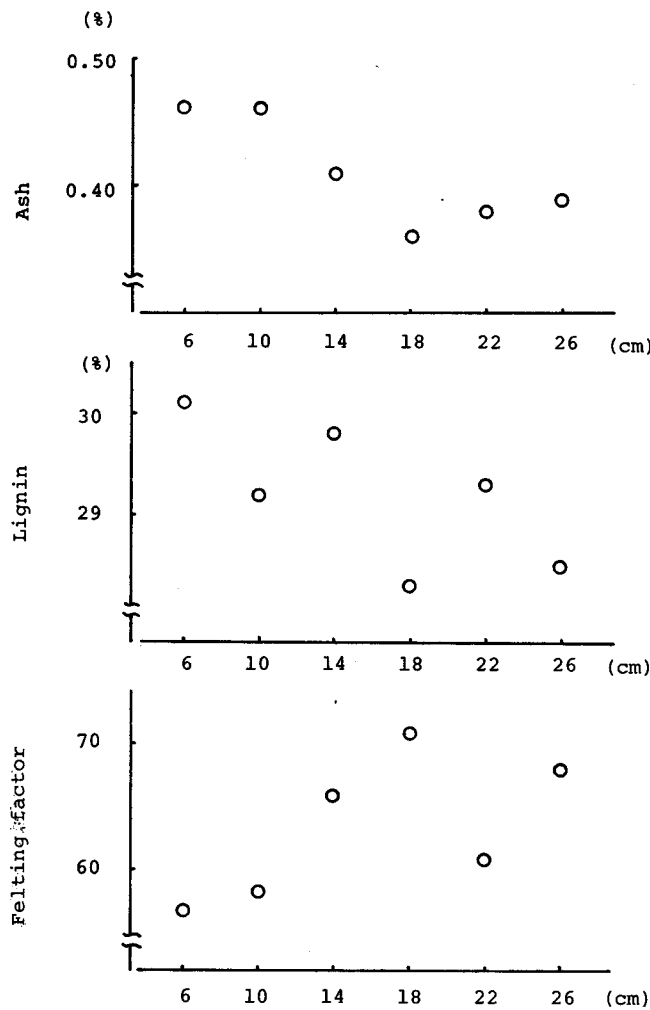


図-1 トドマツの胸高直径と材の性質との関係

Fig. 1. Relation between diameter at breast height and wood properties of saghalien fir.

辺材共に同一木においては上部のものが低い値を示し、辺材については最上部で再び高い値となる。供試木全体では、試料6を除くと成長の遅いものほど高い値を示す。

本実験で用いた試料の地上高は各供試木によって異なるので、値にばらつきが見られたものと考えられる。

繊維長は1.95~2.41 mm, 平均2.19 mmであり、繊維幅は33.0~36.3 μm , 平均34.5 μm を示した。繊維長は成長の遅い供試木では短い傾向を示したが、繊維幅には一定の傾向が認められなかった。繊維の形状の指標となるフェルティング係数(繊維長/繊維幅)は成長の速いものが高い値を示すので、(図-1)これらは比較的細長い形をしていると考えられる。採取部位が上部の試料の繊維長は短く、繊維幅は狭かった。フェルティング係数はほぼ同じであるので、上部の試料は下部の試料より一まわり小さい繊維で構成されていると考えられる。

サーモメカニカルパルプ化の結果は表-3に示すとおりである。試料1に関しては、チップが少量であったので行わなかった。

表-3 トドマツのサーモメカニカルパルプ化
Table 3. Thermomechanical pulping of saghalien fir woods

No. of sample tree	1	2	3	4	5-I	5-II	6-I	6-II
Yield (%)	—	93.2	94.0	94.7	94.3	90.6	93.3	95.8
C.S. Freeness (mℓ)	—	205	222	226	196	213	198	209
Brightness (%)	—	53.6	54.7	53.2	—	—	—	—
Density (g/cm ³)	—	0.26	0.25	0.26	0.24	0.23	0.24	0.23
Breaking length (km)	—	2.1	2.0	2.0	1.8	1.5	1.7	1.7
Burst factor	—	0.7	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8
Tear factor	—	66	83	86	84	79	90	77
Folding endurance	—	2.8	3.7	3.8	4.0	—	—	—

パルプ収率は90.6~95.8%, 平均93.7%で成長の遅速, 試料採取部位などによる一定の傾向は認められなかった。

白色度は試料5, 6については測定しなかったが, 54%前後であった。

シート密度は0.23~0.26 g/cm³, 平均0.24 g/cm³を示した。パルプ強度については、裂断長は1.5~2.1 km, 平均1.8 kmであり、比破裂強さは0.7~0.8, 平均0.8で、いずれも比較的狭い範囲に分布していた。比引裂強さは66~90, 平均81であった。パルプの諸性質の比較では、成長の遅いもののシート密度が高く、これと密接な関係にあるといわれる裂断長も高い値を示した。しかし他の強度に関しては一定の傾向は認められなかった。採取部位が上部のものはシート密度が低く、全般的に強度は低い値を示した。

クラフトパルプ化の結果は表-4に示すとおりである。パルプ収率は46.2~49.6%, 平均48.1%を示し、試料1は低い値であったが、他は比較的狭い範囲に分布していた。粕の量は0.1~0.9%で良く繊維化されていた。

表-4 トドマツのクラフトパルプ化
Table 4. Kraft pulping of saghalien fir woods

No. of sample tree	1	2	3	4	5-I	5-II	6-I	6-II
Screened (%)	45.8	47.6	47.7	48.3	47.8	47.0	49.1	47.9
Yield Screenings (%)	0.4	0.5	0.5	0.1	0.1	0.9	0.5	0.2
Total (%)	46.2	48.1	48.2	48.4	47.9	47.9	49.6	48.1
Kappa number	46.9	48.2	47.7	42.8	41.3	47.7	43.5	41.3
C.S. Freeness (mℓ)	349	390	364	370	344	376	371	392
Brightness (%)	19.5	19.0	19.7	20.6	20.5	20.3	20.4	21.0
Density (g/cm ³)	0.71	0.68	0.68	0.66	0.68	0.69	0.64	0.65
Breaking length (km)	8.7	8.1	8.0	8.0	8.0	7.8	6.6	7.3
Burst factor	8.0	7.3	7.4	7.2	7.4	7.0	5.8	6.2
Tear factor	200	229	265	269	261	215	271	238
Folding endurance	1,740	1,790	1,630	1,680	1,340	1,620	1,200	1,200

カップー価は41.3~48.2, 平均44.9で, 試料間の変動はかなり大きかった。

未叩解パルプのフリーネスはいずれもCSF 710 mℓ前後であり, 叩解後CSF 350~400 mℓに調整するためにPFIミル回転数は, 14,000~15,000を要した。

白色度は19.0~21.0%, 平均20.1%を示し, 狭い範囲に分布していた。成長の遅いものの白色度はやや低い値であるが, これはシート密度が高いことによるものであろう。

シート密度は0.64~0.71 g/cm³, 平均0.67 g/cm³を示した。裂断長は6.6~8.7 km, 平均7.8 kmで, 試料1のパルプはやや高い値を, 試料6のパルプはやや低い値を示し, その他の試料のパルプはほぼ平均値に近い値を示した。比破裂強さは5.8~8.0, 平均7.0で, 各試料からのパルプの数値の分布の傾向は, 裂断長の場合とほぼ同様である。比引裂強さは200~271, 平均244であり, 耐析強さは1,200~1,790, 平均1,520で, いずれも広い範囲に分布していた。強度全般については, 比引裂強さを除くと, 成長の遅いものほど高いという結果になった。採取部位が上部の試料からのパルプは, 密度の高いシートを形成し, フリーネスのばらつきを考慮すると比引裂強さを除いて高い強度を示すと考えられる。

以上の結果から, 間伐木の地上高の高い部分の比較において, 成長の遅い小径木は灰分, リグニンを多く含み, 容積密度数が高く, 繊維は短い傾向にあるといえる。これらを原料とするTMPは比較的密度の高いシートを形成して, 高い裂断長を示す。KPの場合もシート密度は高く, 比引裂強さを除く強度は高い値を示す。

比較的成長の良い供試木の地上高の異なる部位の比較によると, 上部のもののアルコール・ベンゼン抽出物は少く, 繊維は小さい。これから製造したTMPはかき高く, 強度は劣る。KPの場合には逆にシート密度が高く, 比引裂強さを除く強度は高い値を示す。

DINWOODIE⁸⁾は, 比引裂強さと繊維長に正の相関があることを報告しているが, これらの場合にも繊維長の短いことがKPの比引裂強さを低くさせる一因であると考えられる。

KIRK ら⁹⁾は、ロブローパインの未成熟材は成熟材と比較して比重が低く、短繊維で、リグニンが多いアテ部分が多く、これから製造したバルブのシート密度、裂断長、比破裂強さは高く、比引裂強さは低い値を示すことを報告している。未成熟材は髓から10~15年輪、または成長の遅速にかかわらず5~7 cmの範囲に存在するといわれている¹⁰⁾。

本実験の場合には、試料1はほとんど未成熟材で構成され、試料5と6のIは成熟材が多く、残りはその中間にあると考えられる。

この3グループの値を比較すると、容積密度数以外はKIRKらと同様な結論に達することから、間伐材の特性は未成熟材の占める割合に大きく依存するといえよう。

4-2 ヨーロッパトウヒ

試料の化学的性質、形態的性質の分析結果は表-5に示すとおりである。

表-5 ヨーロッパトウヒの化学組成と容積密度数と繊維形態

Table 5. Chemical composition, basic density and fiber dimension of spruce woods

No. of sample tree		1	2-I	2-II	3-I	3-II
Ash	(%)	0.30		0.32		0.35
Alcohol-benzene extracts	(%)	1.6		2.0		1.6
Lignin	(%)	27.1		27.0		28.0
Holocellulose	(%)	74.2		72.6		72.5
α -cellulose	(%)	51.1		49.6		50.0
Basic density	(kg/m ³)	307	333	331	297	295
Fiber length	(mm)	2.59		2.52		2.94
Fiber width	(μ m)	31.6		30.4		34.7
Felting factor (L/W)		82.0		82.9		84.7

灰分は0.30~0.35%で、成長の遅い供試木ほど低い値を示した。アルコール・ベンゼン抽出物は1.6~2.0%で、試料2がやや多かった。リグニンは27.0~28.0%を示し、試料3がやや高い値を示した。ホロセルロースは72.5~74.2%で、試料1が高い値を示し、 α -セルロースは49.6~51.1%で、ホロセルロースと同様試料1が高い値を示した。

容積密度数は295~333 kg/m³で、試料2が著しく高い値を示した。試料地上高別では、上部のもの値がわずかに低い傾向を示した。

繊維長は2.52~2.94 mm、繊維幅は30.4~34.7 μ mで、いずれも試料3の値が大きく、フェルティング係数もやや高い。従って試料3の繊維は試料1, 2と比較して、大型でやや細長い形状をしているといえる。

サーモメカニカルバルブ化の結果は表-6に示すとおりである。

バルブ収率は94.0~99.2%、平均95.9%で、試料1が特に高い値を示し、地上高別の比較では上部のものが高い値を示した。

白色度は53.8~54.9%, 平均54.5%で, 各試料間に大きな差は認められなかった。

シート密度は0.25~0.27 g/cm³, 平均0.26 g/cm³を示した。裂断長は1.7~1.8 km, 平均1.8 kmであり, 比破裂強さは0.6~0.7, 平均0.6で, いずれも各試料間の差は小さかった。比引裂強さは59~79, 平均71で, 成長の遅いものほど高い値を示した。耐析強さは1.7~2.3, 平均2.0で, 狭い範囲に分布しているが, 試料地上高の高いものの値がやや低かった。

クラフトパルプ化の結果は表-7に示すとおりである。

パルプ収率は46.5~49.1%で, 試料2がやや低い値を示したが, 粕はいずれも0.1%と良く繊維化されていた。

カップー価は35.2~37.7を示し, 試料1がやや高い値を示した。

未叩解パルプのフリーネスはCSF 720 ml前後であり, CSF 360~380 mlに調整するにはPFI ミル13,000~14,000回転の叩解を必要とした。

表-6 ヨーロッパトウヒのサーモメカニカルパルプ化
Table 6. Thermomechanical pulping of spruce woods

No. of sample tree	1	2-I	2-II	3-I	3-II
Yield (%)	99.2	94.0	95.9	94.1	96.3
C.S. Freeness (ml)	217	219	212	206	205
Brightness (%)	54.6	54.6	54.9	53.8	54.4
Density (g/cm ³)	0.25	0.26	0.27	0.26	0.26
Breaking length (km)	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8
Burst factor	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6
Tear factor	79	72	74	71	59
Folding endurance	2.0	2.3	1.8	2.0	1.7

表-7 ヨーロッパトウヒのクラフトパルプ化
Table 7. Kraft pulping of spruce woods

No. of sample tree	1	2	3
Screened (%)	49.0	46.4	48.5
Yield Screenings (%)	0.1	0.1	0.1
Total (%)	49.1	46.5	48.6
Kappa number	37.7	35.2	35.7
C.S. Freeness (ml)	374	360	373
Brightness (%)	19.1	19.9	20.1
Density (g/cm ³)	0.69	0.70	0.66
Breaking length (km)	9.6	9.1	9.1
Burst factor	8.6	9.4	8.9
Tear factor	251	216	238
Folding endurance	2,760	1,840	1,830

白色度は19.1~20.1%で、試料1がやや低い値を示したが、試料間の差は小さかった。

シート密度は0.66~0.70 g/cm³で、試料3がやや低い値を示した。裂断長は9.1~9.6 kmで、試料1が高く、比破裂強さは8.6~9.4で試料2が高い値を示した。比引裂強さは216~251、耐析強さは1,830~2,760と各試料間の差は大きく、いずれも試料1が高い値を示した。

以上の結果から、ヨーロッパトウヒの場合成長の遅いものはホロセルロースと α -セルロースを多く含み、灰分がやや少く、これらのTMP、KPはいずれも、成長の速いものから製造したものと同等か、それ以上のシート強度を示すといえる。しかし本実験の供試木はわずか3本であり、名供試木の特殊性などの要因も含まれるため、さらに多くの試料について詳細な検討を行う必要がある。

4-3 ストローブマツ

トドマツと比較して各試料間の成長度の差が小さく、傾向がとらえにくいいため、試料1と2を成長の遅いグループ、試料3と4を中程度のグループ、試料5と6を成長の速いグループと区分して比較を行うことにした。

試料の化学的性質、形態的性質の分析結果は表-8に示すとおりである。

表-8 ストローブマツの化学組成と容積密度数と繊維形態
Table 8. Chemical composition, basic density and fiber dimension of white pine woods

No. of sample tree		1	2	3	4	5	6
Ash	(%)	0.18	0.24	0.25	0.16	0.21	0.23
Alcohol-benzene extracts	(%)	4.8	6.5	6.7	7.4	6.7	5.5
Lignin	(%)	28.8	28.3	27.1	27.0	28.0	28.3
Holocellulose	(%)	68.6	67.9	68.1	67.6	67.2	67.0
α -cellulose	(%)	44.7	43.3	44.0	44.0	43.6	43.4
Basic density	(kg/m ³)	271	279	237	262	247	235
Fiber length	(mm)	2.01	2.02	2.09	2.01	1.87	2.05
Fiber width	(μ m)	39.3	42.7	41.9	42.1	42.1	44.0
Felting factor		51.1	47.3	49.9	47.7	44.4	46.6

化学成分については、灰分は0.16~0.25%、平均0.21%で、各試料間の差は小さかった。アルコール・ベンゼン抽出物は4.8~7.4%、平均6.3%で、試料1は4.8%と低い値を示し、試料4は7.4%と高い値を示した。リグニンは27.0~28.8%、平均27.9%で、比較的試料間の差は小さかった。ホロセルロースは67.0~68.6%、平均67.7%であり、 α -セルロースは43.3~44.7%、平均43.8%で、いずれも狭い範囲に分布していた。成長の遅速にかかわらず、灰分、 α -セルロースはほぼ一定であったが、アルコール・ベンゼン抽出物、リグニン、ホロセルロースは図-2に示すように各グループ間に差が認められた。成長の遅いグループのアルコール・ベンゼン抽出物は少く、リグニンは多いが、中程度の成長を示すグループはその逆であった。ホロ

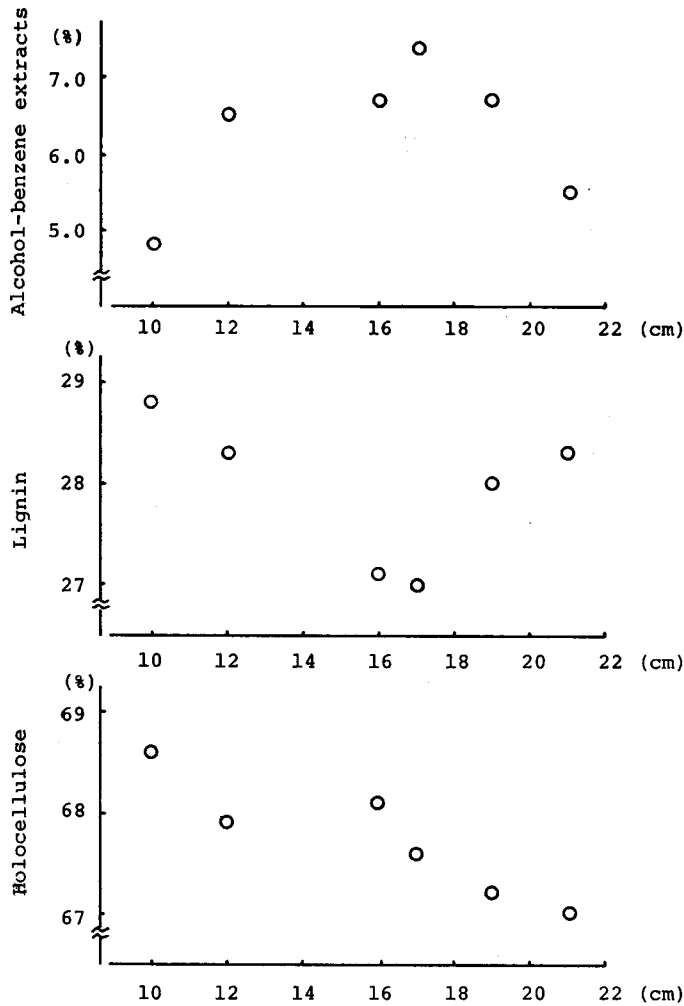


図-2 ストロブマツの胸高直径と材の化学組成との関係

Fig. 2. Relation between diameter at breast height and chemical composition of white pine.

セルロースは成長が遅いほど多くなる傾向にあった。

容積密度数は $235 \sim 279 \text{ kg/m}^3$ 、平均 255 kg/m^3 で各試料間の変動は大きく、試料2が 279 kg/m^3 と特に高い値を示した。成長の遅速による比較では、図-3に示すように成長の遅いグループの容積密度数が高くなる傾向が認められ、トドマツの場合と一致していた。

繊維長は $1.87 \sim 2.09 \text{ mm}$ 、平均 2.01 mm で、試料5が 1.87 mm と低い値を示したが、比較的試料間の差は小さかった。繊維幅は $39.3 \sim 44.0 \mu\text{m}$ 、平均 $42.0 \mu\text{m}$ で、試料1が $39.3 \mu\text{m}$ と低く、試料6が $44.0 \mu\text{m}$ と高い値を示し、他はほぼ一定であった。成長の遅速による比較では、繊維長には一定の傾向は認められなかったが、繊維幅は成長の遅いグループほど低い値を示した。従ってフェルティング係数は成長の遅いものほど高い値となった(図-3)。

サーモメカニカルパルプ化の結果は表-9に示すとおりである。

パルプ収率は84.6~92.0%, 平均89.4%で試料2が84.6%と特に低い値を示した。

白色度は51.1~53.1%, 平均52.2%を示し比較的狭い範囲にあった。

シート密度は0.23~0.26 g/cm³, 平均0.25 g/cm³で試料1が最も低い値を示した。裂断長は1.3~1.5 km, 平均1.4 km, 比破裂強さは0.3~0.5, 平均0.4であり, 耐析強さは0.8~2.0,

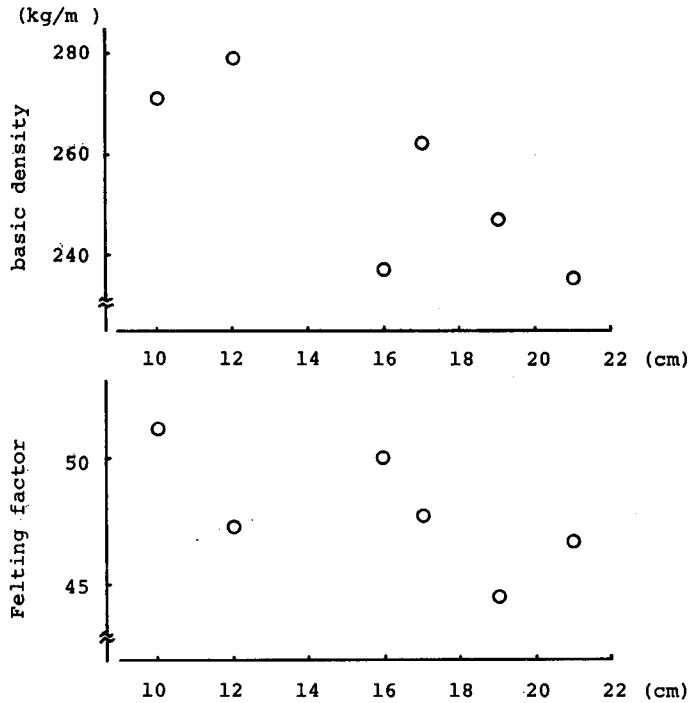


図-3 ストローブマツの胸高直径と材の性質との関係

Fig. 3. Relation between diameter at breast height and wood properties of white pine.

表-9 ストローブマツのサーモメカニカルパルプ化

Table 9. Thermomechanical pulping of white pine woods

No. of sample tree	1	2	3	4	5	6
Yield (%)	90.6	84.6	91.1	90.9	92.0	87.4
C.S. Freeness (mℓ)	223	216	197	226	210	217
Brightness (%)	51.1	51.5	53.1	52.9	51.9	52.4
Density (g/cm ³)	0.23	0.25	0.24	0.26	0.24	0.25
Breaking length (km)	1.3	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4
Burst factor	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4
Tear factor	59	70	61	59	61	73
Folding endurance	0.8	1.8	1.2	2.0	1.2	1.5

平均1.4で、いずれも各試料間の差は大きくないが、シート密度の低い試料1が一般的に低い値を示した。比引裂強さは59~73, 平均64を示し、試料2は70, 試料6は73と他の試料より高い値を示した。

成長の遅速による一定の傾向はいずれに関しても認められず、パルプ収率、白色度、比引裂強さを除くシート強度は、中程度の成長を示すグループが高い値を示した。

クラフトパルプ化の結果は表-10に示すとおりである。パルプ収率は42.9~46.0%, 平均44.6%で、試料1がやや低い値を示すが、他は45%前後であった。図-4に示すように、特に試料のリグニン量との間に負の相関が認められるようであった。粕は0.1~0.4%で、いずれも良く繊維化されていた。

カップー価は43.0~48.8, 平均46.2で、各試料間に大きな差が認められた。

未叩解パルプのフリーネスはCSF 720 mℓ前後で、CSF 370~390 mℓまで叩解するのにPFI ミルで16,500~17,500回転を要した。

白色度は17.4~20.4%, 平均18.6%を示し、試料2, 3は17.4%と低い値を示した。

シート密度は0.71~0.73 g/cm³, 平均0.72 g/cm³を示した。裂断長は7.5~8.8 km, 平均8.0 kmであり、比破裂強さは6.0~7.6, 平均6.6でいずれも試料3が高い値を示したが、他の試料間には大きな差は認められなかった。比引裂強さは156~195, 平均176で、試料1が195試料6が190と高い値を示した。耐析強さは1,140~3,110, 平均1,910で、この場合にも試料3が高い値を示した。

成長の遅速による一定の傾向はほとんど認められず、各グループの平均値の比較においてカップー価とシート密度にわずかに傾向が認められた。成長の遅いものから製造されたパルプのカップー価は低く、シート密度は高い値を示したが、個体間の変動が大きくさらに検討が必

表-10 ストローブマツのクラフトパルプ化
Table 10. Kraft pulping of white pine woods

No. of sample tree	1	2	3	4	5	6
Screened (%)	42.8	43.9	44.9	45.8	44.2	44.7
Yield Screenings (%)	0.1	0.1	0.4	0.2	0.3	0.2
Total (%)	42.9	44.0	45.3	46.0	44.5	44.9
Kappa number	43.0	47.5	47.1	45.8	48.8	44.9
C.S. Freeness (mℓ)	377	383	376	383	389	390
Brightness (%)	19.0	17.4	17.4	20.4	17.9	19.4
Density (g/cm ³)	0.71	0.73	0.72	0.72	0.71	0.72
Breaking length (km)	7.7	8.0	8.8	8.2	7.8	7.5
Burst factor	6.0	6.5	7.6	6.5	6.2	6.2
Tear factor	195	172	168	173	156	190
Folding endurance	1,140	2,130	3,110	1,530	1,940	1,620

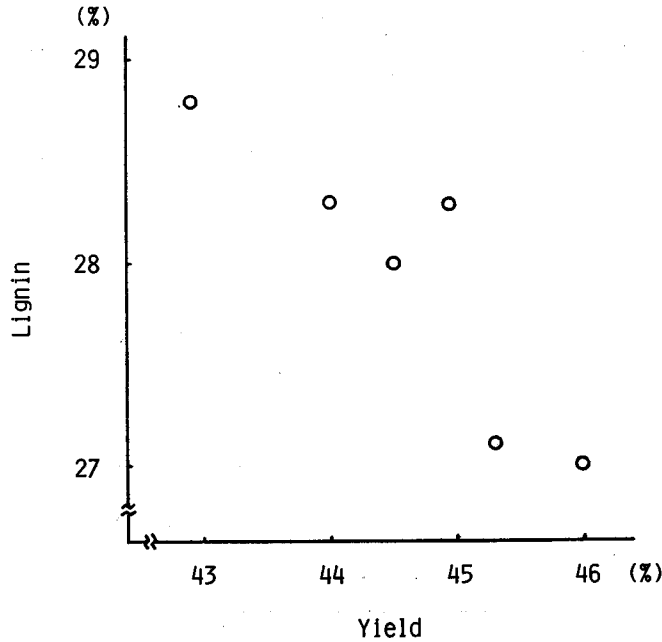


図-4 ストローブマツのリグニン含有量とパルプ収率との関係

Fig. 4. Relation between pulp yield and lignin content of white pine woods.

要であると考えられる。パルプ収率、比引裂強さを除くシート強度は、いずれも TMP と同様に中程度の成長を示すグループが高い値を示し、他の2つのグループ間の差は小さかった。

以上の結果より、ストローブマツの場合、成長の遅いもののホロセルロースは多く、容積密度数は高く、繊維は比較的細い形状をしているといえる。またこれらから製造した TMP, KP が、成長の速いものから製造されたものより強度的に必ずしも劣るというわけではない。

4-4 樹種間の比較

表-11 は、成長の遅れが材の性質に及ぼす影響について樹種毎にまとめたもので、各樹種によってその影響は異っている。これには樹種自身の特性以外に、樹齢や成育条件の違い、未成熟材と成熟材、心材と辺材、早材と晩材などの占める割合、さらにアテの有無などさまざまな要因が複雑にからみあっていることが予想され、間伐材の性質を特徴づけるにはそれぞれの要因の影響を明確にしてゆく必要があると考えられる。

樹種別の供試木の諸性質を比較した結果は表-12 に示されるとおりである。各樹種の平均値を求め、トドマツについては栗沢産の供試木の値を併記している。

3 樹種を比較すると、特にアルコール・ベンゼン抽出物がストローブマツに多かった。ヨーロッパトウヒは、ホロセルロースと α -セルロースを多く含有していた。

容積密度数はヨーロッパトウヒが高く、ストローブマツが低い値を示した。繊維長はヨーロッパトウヒが長く、ストローブマツが短く、繊維幅は逆の結果となった。フェルティング係

表-11 成長の遅れが及ぼす影響

Table 11. Influence of slow growth on wood properties

Wood species	Saghalien fir		Spruce		White pine	
Chemical composition	Ash	+	Ash	-	Holocellulose +	
	Lignin	+	Holocellulose	+		
			α -cellulose	+		
Basic density		+			+	
Fiber dimension		-			-	
	TMP	KP	TMP	KP	TMP	KP
Sheet density	+	+				
Breaking length	+	+		+		
Tear factor		-	+	+		

表-12 3樹種の化学組成と容積密度数と繊維形態

Table 12. Comparison of chemical and morphological properties of three wood species

Wood species	Saghalien fir		Spruce	White pine
	Av.	Ku	Av.	Av.
Ash (%)	0.42	0.35	0.32	0.21
Alcohol-benzene extracts (%)	2.8	2.7	1.7	6.3
Lignin (%)	29.1	28.8	27.4	27.9
Holocellulose (%)	71.0	67.3	73.1	67.7
α -cellulose (%)	45.1	43.5	50.2	43.8
Basic density (kg/m ³)	284	284	312	255
Fiber length (mm)	2.19	2.17	2.68	2.01
Fiber width (μ m)	34.5	31.0	32.2	42.0
Felting factor	63.5	70.0	83.2	47.9

数を比較すると両者の違いはより明確となり、ヨーロッパトウヒは細長い繊維で、ストローブマツはずんぐりとした形状の繊維で構成されているといえる。トドマツはこの2樹種の間位置していた。

川瀬ら¹¹⁾は、トドマツと比較してストローブマツの灰分、アルコール・ベンゼン抽出物、リグニンが多く、ホロセルローズが少い結果を得ているが、本実験では灰分、リグニンは必ずしも多くはなかった。このことは、樹齢や成育環境の違いによるものであろう。なお、容積密度数に関しては一致した結果となっている。

サーモメカニカルパルプ化の結果は表-13にまとめられている。収率、白色度において、ストローブマツが低い値を示すが、これはアルコール・ベンゼン抽出物の含有量の影響によるものと考えられる。川瀬ら¹¹⁾は、ストローブマツの温水抽出物もトドマツと比較して多いこと

を報告している。シート強度は全般的にトドマツが高い値を示し、ストローブマツが低い値を示した。

クラフトパルプ化の結果は表-14のとおりである。クラフトパルプ化の場合も同様にストローブマツの収率は低かった。カップー価はヨーロッパトウヒが特に低く、他の2樹種より脱リグニンされ易いことを示している。CSF 370 mℓまでの PFI 回転数はストローブマツの場合多いが、叩解され難い原因として繊維の形状が関係していると考えられる。

シート強度は、ヨーロッパトウヒが高い値を示したが、比引裂強さを除くとストローブマツもトドマツと同じレベルに達している。川瀬らの報告¹¹⁾においても、ストローブマツの裂断

表-13 3樹種のサーモメカニカルパルプ化

Table 13. Comparison of the properties of thermomechanical pulps from three wood species

Wood species	Saghalien fir		Spruce	White pine
	Av.	Ku	Av.	Av.
Yield (%)	93.7	94.6	95.9	89.4
C. S. Freeness (mℓ)	210	199	212	215
Brightness (%)	53.8	54.2	54.5	52.2
Density (g/cm ³)	0.24	0.26	0.26	0.25
Breaking length (km)	1.8	2.1	1.8	1.4
Burst factor	0.8	0.7	0.6	0.4
Tear factor	81	74	71	64
Folding endurance	3.6	3.0	2.0	1.4

表-14 3樹種のクラフトパルプ化

Table 14. Comparison of the properties of kraft pulps from three wood species

Wood species	Saghalien fir		Spruce	White pine
	Av.	Ku	Av.	Av.
Screened (%)	47.7	46.5	48.0	44.2
Yield Screenings (%)	0.4	0.1	0.1	0.2
Total (%)	48.1	46.6	48.1	44.6
Kappa number	44.9	47.2	36.2	46.2
C.S. Freeness (mℓ)	370	382	369	383
P.F.I. revolution	14,200	14,500	13,300	17,300
Brightness (%)	20.1	19.4	19.7	18.6
Density (g/cm ³)	0.67	0.69	0.68	0.72
Breaking length (km)	7.8	9.3	9.2	8.0
Burst factor	7.0	7.4	9.0	6.6
Tear factor	244	190	235	176
Folding endurance	1,520	1,630	2,140	1,910

長、比破裂強さはトドマツより強く、比引裂強さは弱い結果を得ている。この比引裂強さの低いことは、繊維長の短いことやシート密度の高いことに由来するものと考えられる。しかしクラフトパルプとしては十分な強度を持ち、実用上は問題ないと考えられる。

以上の結果から、ヨーロッパトウヒは、すぐれたパルプ化特性を持つトドマツと同程度か、それ以上の適性を持つと結論でき、ストローブマツに関しても、収率や叩解の面で不利はあるが、化学パルプの原料として強度的に十分な適性を有していると考えられる。またいずれの小径木についても、著しい不利は認められないので、省資源の立場からも積極的な有効利用が望まれる。

5. 結 言

北海道内に造林されている樹種の中から、トドマツ、ヨーロッパトウヒ、ストローブマツをとりあげ、間伐材のパルプ原木としての適性評価を行い、また成長の遅速がパルプ化特性にどのように影響するかということを明らかにするために、同一林内から同一樹齢の立木を胸高直径別に供試木として選定し、その化学組成、容積密度数、繊維形態要素を測定した。さらにサーモメカニカルパルプ、クラフトパルプを製造して、パルプの性質について試験を行った。またトドマツについては同一木の地上高の異なる部分から試料を採取して、その違いについて検討を行った。これらの結果は次のように要約される。

1) 恵庭産44年生トドマツの場合、成長の遅いものは灰分、リグニンを多く含み、容積密度数が高いが、TMP 原木としての十分な適性を有し、KP 原木としては、繊維の短いことによる比引裂強さの低下をもたらすが、裂断長をはじめとする他の強度はむしろすぐれているので、十分利用可能と考えられる。

2) トドマツの試料採取部分が上部のものは、繊維が小さくなり、TMP の強度も低い値を示した。KP は比引裂強さを除くと高い強度を示した。

3) 岩見沢産44年生のヨーロッパトウヒの場合、成長の遅いものはホロセルロース、 α -セルロースを多く含有し、パルプ化に際して特に問題点は認められなかった。

4) 栗沢産18年生のストローブマツの成長の遅いものは、ホロセルロース含有量が多く、容積密度数が高いが、これから製造した TMP、KP 共に強度的に問題は認められなかった。

5) ヨーロッパトウヒは、トドマツ、ストローブマツと比較してホロセルロース、 α -セルロースが多く、容積密度数が高く、繊維は細長い形状を示した。

6) ストローブマツはアルコール・ベンゼン抽出物を多量に含有し、容積密度数が低く、短くて幅広い繊維を有していた。

7) ストローブマツの TMP は収率、強度の面でトドマツやヨーロッパトウヒの TMP に劣っていた。ストローブマツ KP は収率と叩解性にやや難点があるが、シート強度はトドマツ KP と同程度であった。

8) ヨーロッパトウヒはトドマツに匹敵するか、それ以上のパルプ化特性を示し、パルプ原木としての適性は高い。

6. 参考文献

- 1) 北海道：北海道山林史 (1953).
- 2) 北海道：北海道林業統計 (1980).
- 3) 小沢準二郎：北海道の造林用種子. 北方林業会 (1964).
- 4) 菊池文彦・香山 彊：カラマツ間伐材のパルプ化. 林試報, 273, 95 (1975).
- 5) 奥山 寛：カラマツ材の辺材, 心材および混合材別に製造したクラフトパルプについて. 日林北支講, 15, 164 (1966).
- 6) 奥山 寛：部位別によるカラマツ材のクラフトパルプについて. 日林北支講, 16, 41 (1967).
- 7) 宮島 寛：トドマツ造林木の材質と利用第1報, 恵庭産トドマツの生長と基礎材質. 北大演報, 37, 789 (1980).
- 8) DINWOODIE, J. M.: The relationship between fiber morphology and paper properties: A review of literature. Tappi 48, (8), 440 (1965).
- 9) KIRK, D. G., BREEMAN, L. G. and ZOBEL, B. J.: A pulping evaluation of juvenile loblolly pine. Tappi 55, (11) 1600 (1972).
- 10) 渡辺治人：木材理学総論. 農林出版社, (1978).
- 11) 川瀬 清・氏家雅男・戸坂圀夫：北海道の造林対象樹10種の化学的性質と硫酸塩パルプ. 北大演報, 20, 239 (1963).

Summary

This study, based on the investigations of the characteristics of wood and on the pulping tests involving three species of plantation grown softwoods in Hokkaido, was undertaken to determine the suitability of thinnings of these species as raw materials of pulp. Using the samples from slow and fast grown trees collected from the same forest, the influence of growth rate of trees on the characteristics of wood and on the properties of pulps produced from these wood samples were also investigated.

The wood samples were collected from different places in Hokkaido. The name and the properties of the wood samples are shown in Table 1.

The results are summarized as follows:

1) The samples from slow grown trees of saghalien fir, 44 year old, were high in ash, lignin and basic density in comparison with those from fast grown trees. The thermomechanical pulps and kraft pulps from these samples showed good strength properties except tear strength.

2) The samples from upper portion of trees of saghalien fir had smaller fibers compared with those from under portion. The strength properties of thermomechanical pulps from the former samples were lower than those of the latter, but those of kraft pulps showed reverse results except tear strength.

3) The samples from slow grown trees of spruce, 44 year old, were high in holocellulose and α -cellulose in comparison with those from fast grown trees. There were no significant differences in pulp qualities between the samples.

4) The samples from slow grown trees of white pine, 18 year old, were high in holocellulose and basic density in comparison with those from fast grown trees. The pulps from

these samples showed similar properties in spite of different growth rate.

5) The samples from spruce were higher in holocellulose and α -cellulose content and in basic density than those from saghalien fir and from white pine. The fibers of spruce wood samples were slender.

6) The samples from white pine were higher in alcohol-benzene extracts and lower in basic density than those from the others, and their fibers were short.

7) The qualities of thermomechanical pulps from white pine were inferior to those of pulps from saghalien fir and of pulps from spruce, but kraft pulps from white pine showed similar qualities as those from saghalien fir, except yield and beating energy.

8) Spruce wood was excellent in pulping properties in comparison with saghalien fir wood, which has been in wide use in pulp mills as raw material.