

無花粉スギ品種開発に向けた小角散乱による スギ接線壁マイクロフィブリル配向評価

Characterization of Microfibril Angle Distribution in Tangential Wall by Small Angle Scattering to Develop Pollen-free Japanese Cedar (*Cryptomeria Japonica*)

廣沢 一郎^a, 江島 淳^b, 馬込 栄輔^a, 瀬戸山 寛^a, 鈴木 直幸^a, 福井 遼^b
Ichiro Hirotsawa^a, Atsushi Ejima^b, Eisuke Magome^a, Hiroyuki Setoyama^a, Naoyuki Suzuki^a, Ryo Fukui^b

^a(公財)佐賀県産業振興機構九州シンクロトン光研究センター, ^b佐賀県林業試験場
^aSAGA Light Source, ^bSaga Prefectural Forest Experimental Station

木材強度の指標のひとつである曲げヤング率と強い相関があるセルロース繊維(cellulose microfibril : CMF)の仮道管に対する配向角度(microfibril angle : MFA)の測定が、早期の優良品種選抜手法としてラジアータマツ、ベイマツ、実生のスギで検討されている。2022B, 2023A 期に行った小角散乱測定で得られたサガンスギ(佐賀県林業試験場が開発した成長が早く軽くて高強度な新品種のスギ)の MFA は成熟材、未成熟材ともに従来品種のスギより小さく、人工交配によるスギ新品種開発においても MFA が早期の優良品種選抜法として活用できる可能性が示された。本課題では早期選抜をより効果的に行うことを目指して苗となる萌芽子の MFA 測定を小角散乱により行った。その結果、成熟材部の MFA が小さく高強度なサガンスギの方が萌芽子の MFA も小さい傾向が見られた。

キーワード： 萌芽子、小角散乱、マイクロフィブリル、スギ

背景と研究目的：

佐賀県林業試験場は成長が早く高強度な無花粉スギの人口交配による育種に取り組んでいる。スギ雄花の花粉生成を司る遺伝子は判明しているため、実生の幼若な苗の段階で交配によって得られた品種の遺伝情報を調べることで無花粉スギ開発における有用性の判断が可能である。一方、成長が早い、強度が強いことを司る遺伝子は判明していないため植樹後 20 年以上を経た成木にならないと優良品種を選抜することができない。本申請は、木材強度の指標とされている木材強度の指標である曲げヤング率に対して強い負の相関を有するセルロース繊維束 (cellulose microfibril: CMF) の仮道管軸に対する配向傾斜角度 (microfibril angle : MFA) の小角散乱による測定を通じて、成長が早く高強度な無花粉スギ育種における優良品種早期選抜法開発を目的としている。

これまでに行った佐賀県林業試験場が開発した成長が早く軽量で高強度な新品種のスギ(サガンスギ、B-74 参考文献[1,2])を中心に施した小角散乱による MFA 測定の結果より、MFA と強度の指標である曲げヤング率とは強い負の相関があることが明らかになった。また、木材として十分度を有する成熟材になるまでの期間は 16 年程度であり、年輪ごとの MFA と成熟材の MFA の相関係数は植樹後 4 年以降で 0.5 を上回りその後漸する結果が得られたため、MFA 測定が優良品種早期選抜法のひとつとして有用であることが示された (2023 年九州森林学会で発表)。

しかし、幹の断面から MFA 測定用の試料を調製する方法では、MFA 測定のために樹の伐採が必要のため、優良品種と判明した樹であっても成熟材となるまで育成することができない。一方、試験片を対象とする樹の枝から採取するのであれば伐採の必要はないため効率的な優良品種早期選抜方法となる。しかしながら、幹の MFA と枝の MFA との相関を系統的に検討した先行研究がなく、枝から採取した試料片の MFA 測定の有用性は明らかではない。そこで、枝から採取した試料片の MFA と幹の MFA 測定を系統的に行ってそれぞれの相関を明らかにし、枝から採取した試料片の MFA 測定による優良品種早期選抜法を検討する。特に、今回の実験では、スギ苗木となる萌芽子を試料とした。

実験：

測定試料はこれまでの測定により成熟材での MFA が得られているサガンスギ(B-74)と従来種

(藤津 14 号)を対象に、苗木になるそれぞれ 2 つのクローンの採穂台木の 6 個の萌芽枝から採取した。測定試料片は萌芽子の髄を通るような厚さ 1 mm 程度の板状薄片とした (図 1)。

小角散乱測定はこれまでと同様に BL19B2 で、波数域 0.073 nm^{-1} から 3 nm^{-1} の小角散乱パターンを取得するため BL19B2 で 18 keV の X 線によりカメラ長約 3 m の条件で測定した[3]。位置走査測定はこれまでと同様に 0.25 mm 間隔とした。なお、これまでの測定よりも試料片が薄いことを考慮して 1 点あたりの露光時間を 30 秒とした。

結果および考察：

図 2(a) は藤津 14 号萌芽子の樹皮に近い位置で測定された小角散乱パターンである。これまでに測定したスギ材と同様に図 1(a)の水平方向に接線壁のセルロースマイクロフィブリル由来の散乱と傾いて交差した放射壁のマイクロフィブリル由来の散乱が観測されている。接線壁由来の散乱と放射壁由来の散乱とのなす角が MFA に対応するが、接線壁と垂直な方位にはマイクロフィブリルの散乱に加えて細胞壁表面の密度コントラストによる散乱が重畳する。そこで、測定で得られた小角散乱パターンの各方位角における動径方向のプロファイルを経径方向の半径 R の円筒状散乱体に対応する波数 q の 1 階 Bessel 関数 $J_1(Rq)$ で fitting してマイクロフィブリルの方位分布を導出し、得られた散乱強度方位分布より MFA を推定した。マイクロフィブリル由来の散乱と q^{-4} で近似した細胞壁密度コントラストを反映した散乱の和で各パラメータを最適化して得られた散乱強度の方位分布を図 2(b)にしめす。



図 1 試料片を採取した萌芽子と試料片例 (右下)。萌芽子の橙色四角で囲まれた部位を幅約 7.5 mm 厚さ 1.0 mm 程度の薄板状に加工して試料片とした。

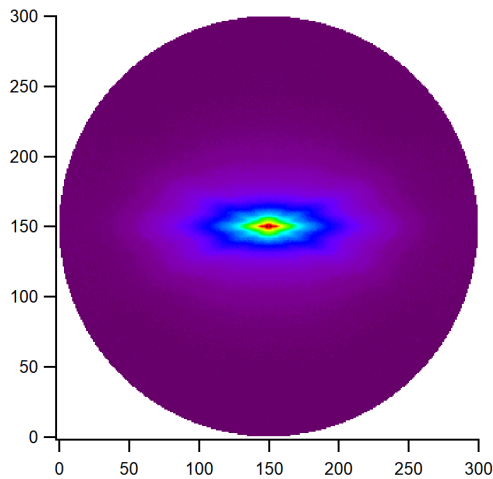


図 2 (a) 藤津 14 号萌芽子の小角散乱測定結果の例

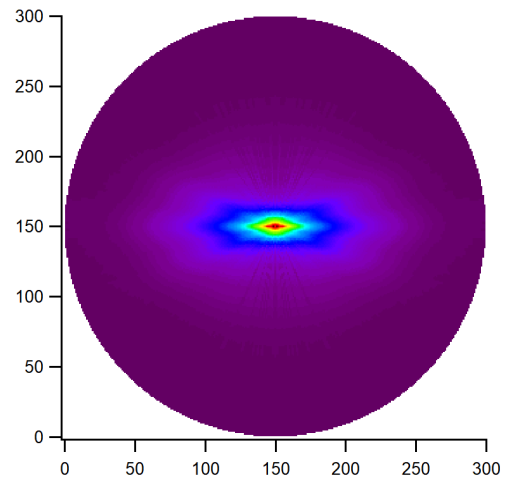


図 2(b) 細胞壁密度コントラスト由来の散乱とマイクロフィブリル由来の散乱での fitting 例

図 2(c) は散乱ベクトルが接線壁に平行な方位での動径方向の散乱強度プロファイルの測定値 (赤丸) と計算値 (青線) の例である。図 2(d)は全方位角について図 2(c)で行ったのと同様な処理を施して得られたマイクロフィブリル由来の小角散乱の散乱強度分布の例である。図 2(e)はマイクロフィブリルの方位分布からの MFA 導出例である。中央にある接線壁の S_2 層のマイクロフィブリルとその両側にある放射壁の S_2 層のマイクロフィブリルの分布をガウス関数で近似して fitting し

た。なお、弱いながらも等方的な MFA 分布も検出されている。これらは S_1 層もしくは S_3 層を形成しているマイクロフィブリルによるものと考えている。図 2(f)は図 2(e)に示されたマイクロフィブリル方位角分布から計算した散乱強度分布である。

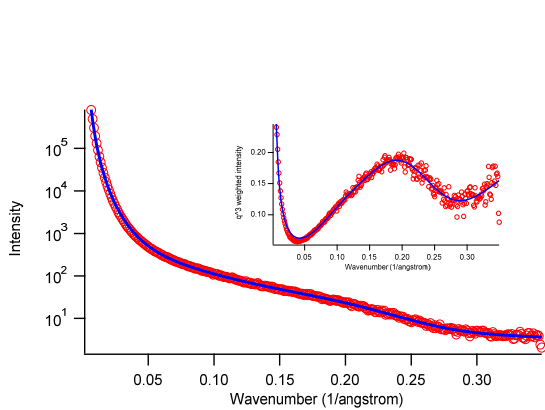


図 2(c) 散乱ベクトルが接線壁に平行な方位での動径方向の散乱強度プロファイルの測定値(赤丸)と計算値(青線)。右上の挿入図は Bessel 関数の特徴を強調するため散乱強度に q^3 を乗じている。

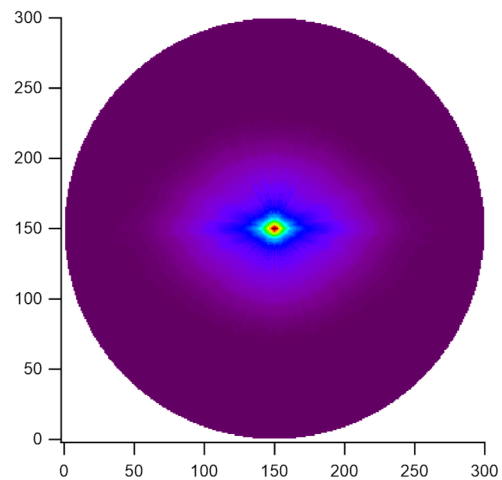


図 2(d) 推定したマイクロフィブリル由来の散乱強度の方位分布

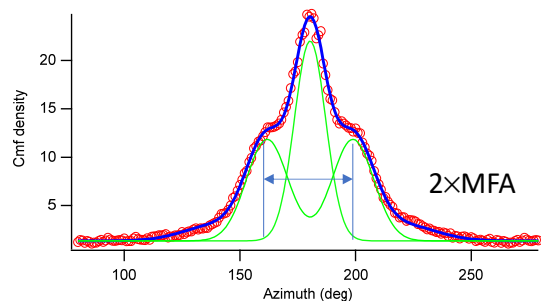


図 2(e) ミクロフィブリルの方位分布からの MFA 導出例。赤丸が図 2(d)の強度に対応するマイクロフィブリル量。青曲線が 3 つのガウス関数と等方的な散乱による fitting 結果。薄緑がガウス関数で近似した S_2 層の接線壁と放射壁に含まれるマイクロフィブリル分布である。

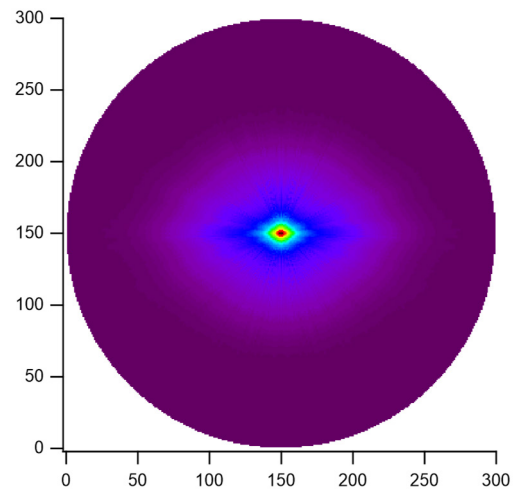


図 2(f) 方位角 fitting により導出したマイクロフィブリル分布による散乱強度分布の計算値

図 3(a), (b) は藤津 14 号と B-74 について上記の方法で導出したマイクロフィブリルの方位角分布 (横軸) を測定位置 (縦軸) ごとに示している。測定位置の原点を髄の中心とし光源から下流に向かって左側を負、右側を正で表している。どちらの結果も樹皮に近い部分を除いて接線壁からの散乱が弱い。特に髄中心部付近は放射壁の散乱も弱くマイクロフィブリルが少ないことを示している。なお、MFA はマイクロフィブリルが少ない髄近傍を除いて 2 つの放射壁のマイクロフィブリル分布の最頻値間の方位角間隔の半分として決定した。

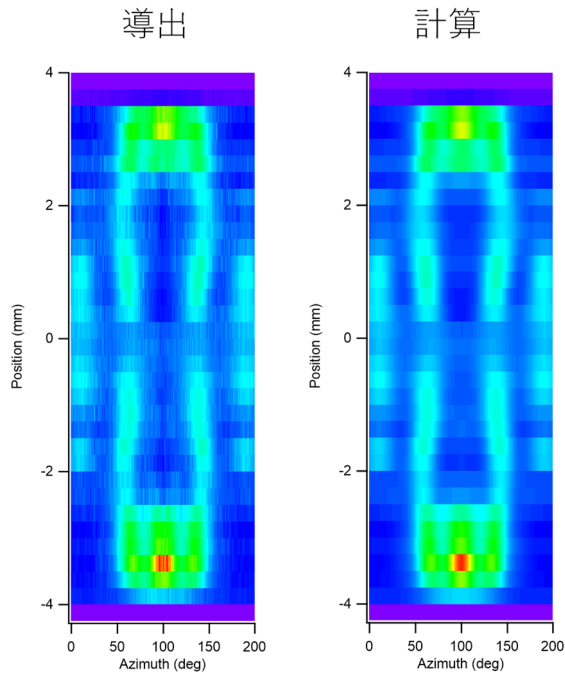


図 3(a) 藤津 14 号萌芽子の測定位置(縦軸 mm)とマイクロフィブリル方位分布 (横軸 deg) の関係。左が導出値。右が fitting で得られた方位分布による計算値。

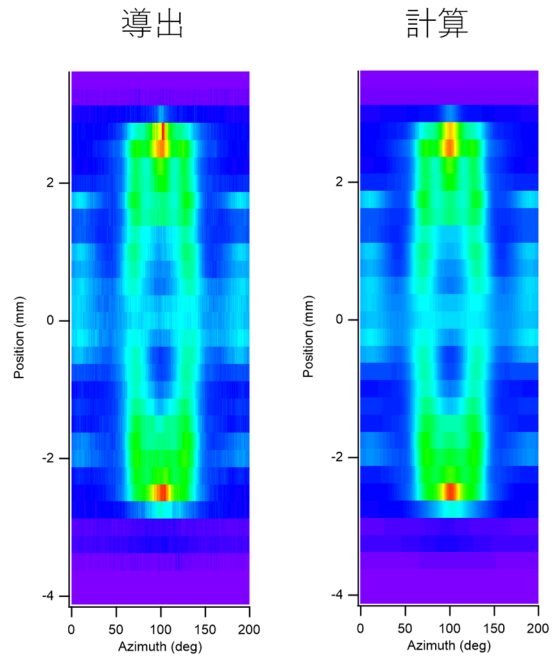


図 3(b) B-74 萌芽子の測定位置(縦軸 mm)とマイクロフィブリル方位分布(横軸 deg)の関係。右が fitting で得られた方位分布による計算値。

測定より導出した全試料片の MFA と測定位置との関係を図 4 に示す。この図は成熟材部での MFA が小さい B-74 (青丸) が萌芽子においても藤津 14 号 (赤丸) よりも MFA が小さいことを示し、萌芽子の MFA と成熟材部の MFA に相関がある可能性を示唆している。以上の結果より萌芽子の MFA 測定が優良品種の早期選抜方法の候補のひとつになりうると考えられる。

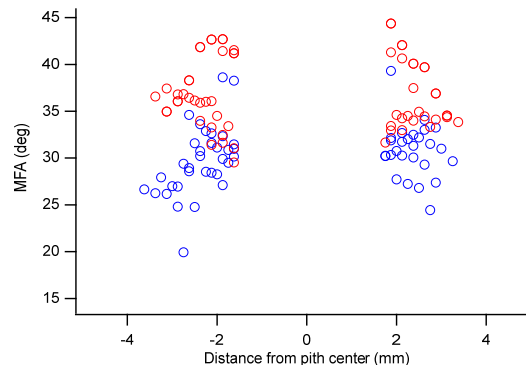


図 4 萌芽子内の MFA 分布。赤が藤津 14 号、青が B-74 である。測定位置 (横軸) の原点は髓の中心としている。

参考文献：

- [1] 江島, 林崎 佐賀県林業試験場業務報告書 令和元年 pp. 5-22.
https://www.pref.saga.lg.jp/kiji00367239/3_67239_189232_up_tlayr0qj.pdf
https://www.pref.saga.lg.jp/kiji00367239/3_67239_226424_up_2suji87o.pdf
- [2] 江島, 多良 佐賀県林業試験場業務報告書 令和 2 年 pp. 5-30.
https://www.pref.saga.lg.jp/kiji00367239/3_67239_226424_up_2suji87o.pdf
- [3] 廣沢, 他, 令和 4 年度 SPring-8 一般課題 (産業分野) 実施報告書 (2022B) 2022B1587
http://support.spring8.or.jp/report/Report_JSJR/PDF_JSJR_2022B/2022B1587.pdf