



# フェアリー化合物で果実糖度を高める 新規処理法と上昇剤の開発

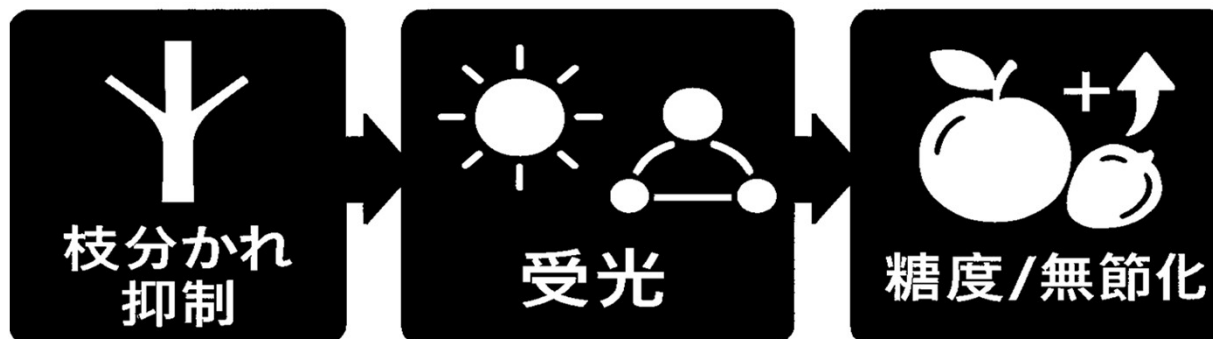
宇都宮大学

バイオサイエンス教育研究センター

准教授 謝 肖男

2025年10月21日

## 新技術の概要:



「枝分かれ抑制→受光↑→配分設計→糖度↑/無節化」

**狙い**: 枝分かれ抑制(樹形アーキテクチャ制御) × 物質Xにより、受光と同化産物配分を設計し、果実糖度の制御と無節材(高付加価値材)化を両立する。

**技術の核**: 形成前から分枝を抑制・設計し、形成後の剪定依存を低減。物質Xは仕上げ段階の補助に位置づけ。

**根拠**: SL(ストリゴラクトン)欠損で高次分枝↑・幹に沿うオーキシン(IAA)勾配変化・モデルで構造差のみでも再現。

**期待効果**: 受光効率 +10~15% → ° Brix +0.5~+1.2(品目・年次に依存/検証中)。

## 樹木の枝分かれ抑制(植物ホルモン IAA と SL)

植物ホルモン オーキシシン(IAA) と ストリゴラクトン(SL) は、樹木の分枝形成を制御する主要なシグナルであり、頂芽優勢(apical dominance) の維持に重要な役割を果たす。

### 作用機構

#### •IAA(オーキシシン)

- ・シュート頂端で合成され、基部方向へ極性移動する。
- ・この移動が側芽でのSL合成を誘導する。

#### •SL(ストリゴラクトン)

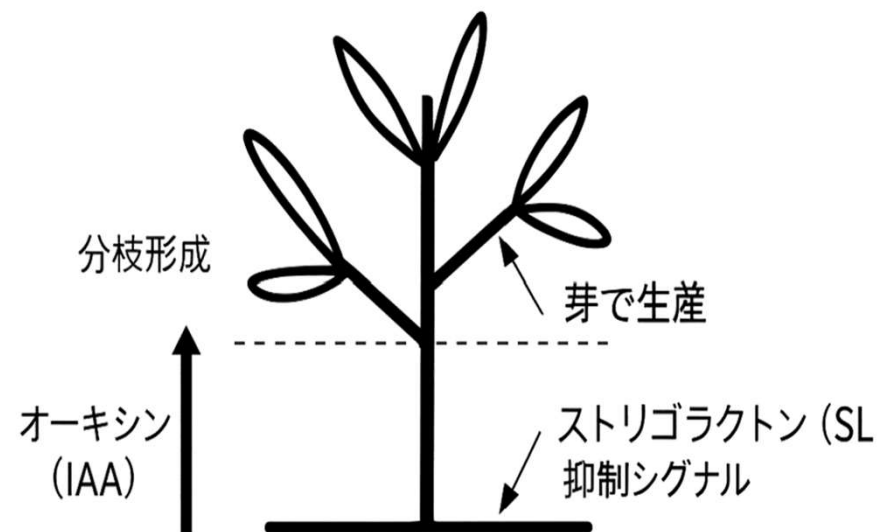
- ・側芽で合成され、側枝の成長を直接抑制する。
- ・IAAとの協調により、不要な分枝の発生を抑制し、資源配分の効率化と樹形の最適化を実現。

### 樹形への影響

- IAA勾配の形成: 幹上部ほどIAA濃度が高く、基部では低下することで枝序の差が生じる。
- SL欠損変異(例: BpMAX1変異体)では、高次分枝が増加し、樹高が低く密な樹形となる。

•結果: IAA-SLネットワークにより、

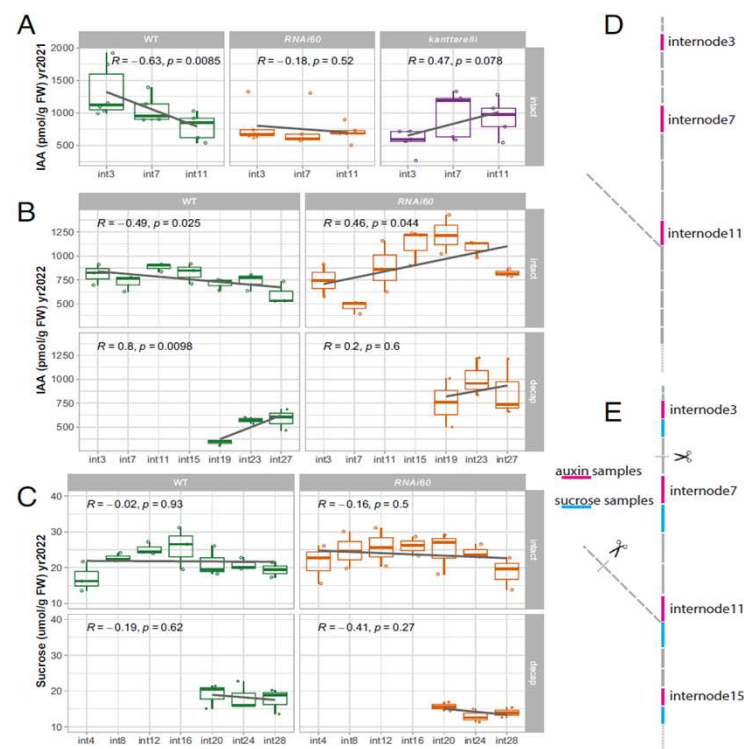
**「形成前の分枝抑制設計」が可能となる。**



## 背景：糖度と樹形(アーキテクチャ)が決める価値

- 糖度は単価・ブランド価値・嗜好性に直結。
- 林業ではまっすぐな主幹＋少数・細い枝が製材価値を最大化(無節材)。

- 樹形(枝序・角度・節間・樹高)は光の空間分布と炭水化物の流れを決める上流要因。
- 樹形差は幹に沿う長距離シグナル(IAA)分布にも反映(白樺で実測)。



## 従来：剪定・キャノピー管理の役割と限界

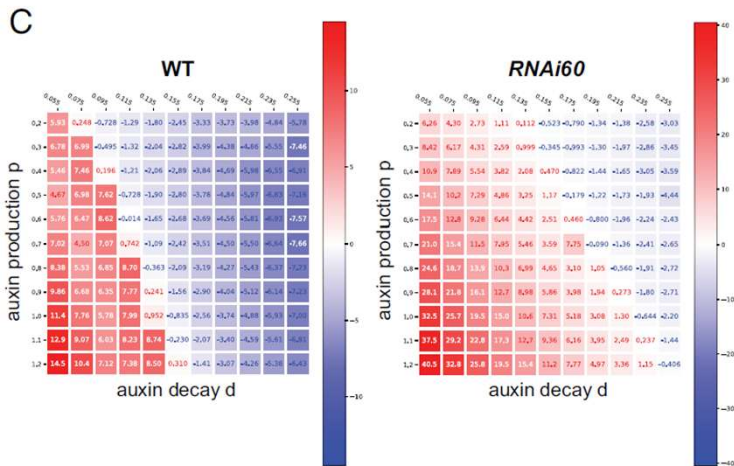
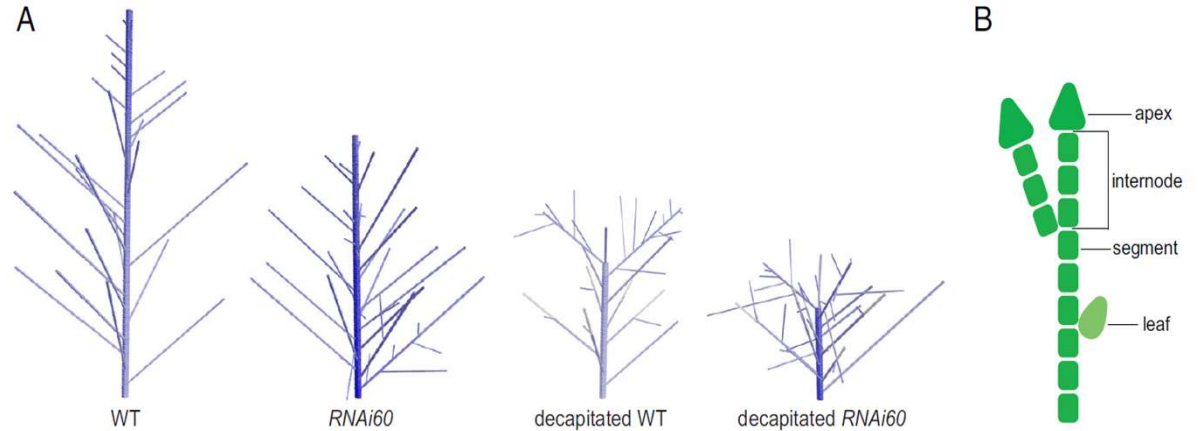
- 役割：受光・通風・着色・負担果実の最適化、樹勢調整。
- 限界：形成後の調整ゆえ年次・園地・作業者依存が大、作業負担・ムラが生じやすい。
- 課題：再現性とコスト、糖度の“底上げ”に限界。
- 本技術の発想：形成前から分枝生成を設計し、後追い作業を軽減。

	従来法	再現性	作業性
従来法			
新技術			
コスト			

従来法vs新技術(効果／再現性／作業性／コスト)比較表。

# 科学的根拠①:分枝とホルモン(SL×IAA)の要点

- SL欠損(BpMAX1変異/RNAi)で高次分枝が顕著に増加、枝角度が小さく、低木状に(温室・圃場)。



- ✓ WTでは幹上部→基部にIAAが逓減、SL欠損系では逆転・平坦化(年次・摘心条件で一貫)。
- ✓ 3D-TLSと数理モデルで、構造差のみでもIAAの幹軸勾配差が説明可能。

## 科学的根拠②: IAA-SLネットワークによる樹形制御モデル

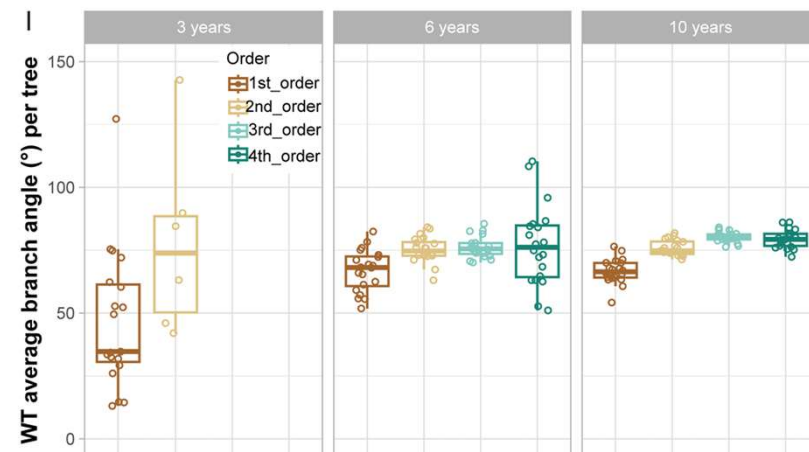
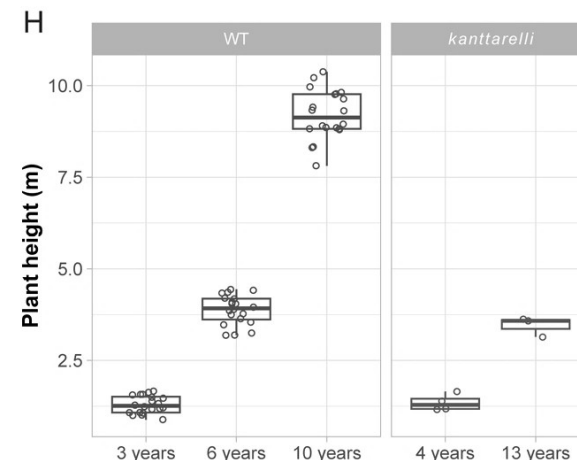
- SL(ストリゴラクトン)とIAA(オーキシン)は、樹木の形態を決定する長距離シグナルの協調制御因子である。
- SLの欠損により、樹形が「高木型」から「低木型」へ変化し、枝の階層構造とIAAの分布が再構成されることが確認された。

### 1) IAA勾配と樹形の関係

- ✓ WT: 幹上部でIAA濃度が高く、基部に向けて減少。
- ✓ SL欠損株(BpMAX1変異/RNAi): 勾配が平坦化または逆転し、下位枝や二次枝にIAAが集中 → 高次分枝が活性化。
- ✓ この違いはIAA合成や輸送能の変化ではなく、構造的差異(樹高・枝数)に起因。

### 2) 数理モデルによる再現

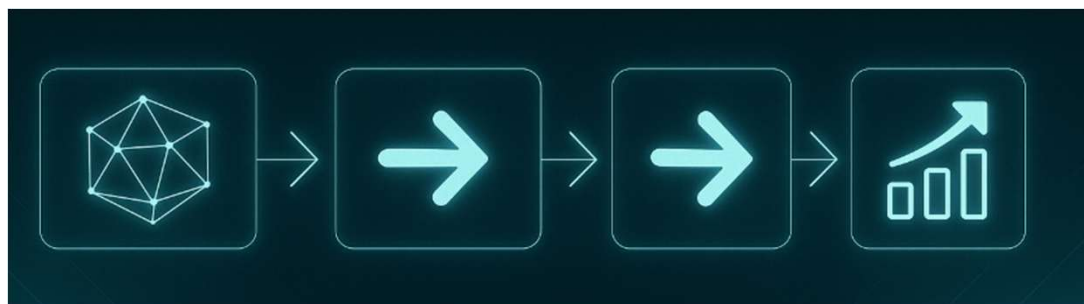
- ✓ Long-distance Signaling Model (LSM) によりIAA分布を再現。
- ✓ 仮定: IAAは頂端と葉位置で合成され、基部方向に輸送・一定率で減衰。
- ✓ パラメータ( $p=0.7$ ,  $d=0.155$ )で、WTでは上→下で減衰、RNAi株では逆転傾向(下部で高濃度)が生じる。



## 新技術のコンセプト：形成前から「分枝を設計」

◆ 芽位 × 枝序 × 角度 × 節間長を栄養成長初期から設計＝“面”で受けるキャノピーを作る。

- 長距離IAA勾配とソース-シンク配分を樹形で最適化。
- 物質Xは仕上げ段階で果実側の取り込みを後押し。
- 特徴：デジタルツイン化(TLS/点群)＋数理設計＋軽作業。

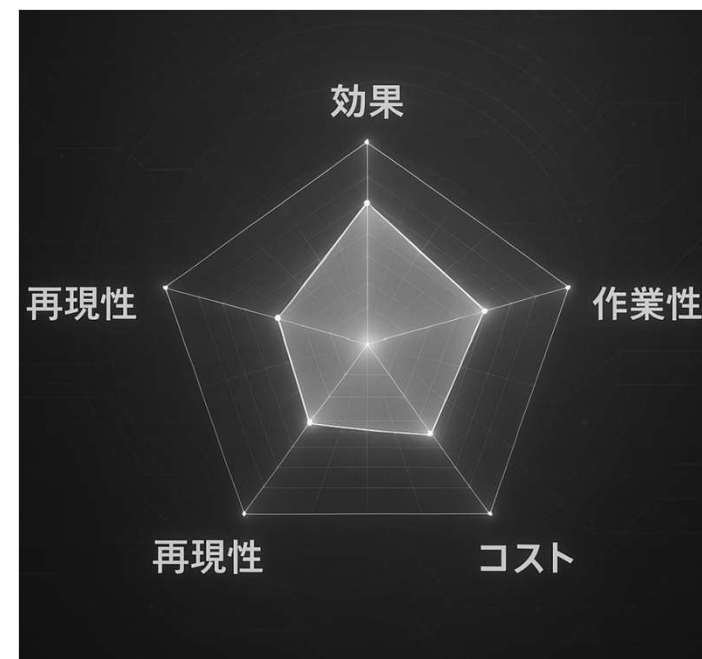


「構造 → 受光 → 配分 → 成果」



## 従来比較：形成後の剪定 vs 形成前の分枝設計

- ◆ 従来：結果的にムラ（“当たる枝/当たらない枝”）  
・繁忙期負担・再現性のばらつき。
- ◆ 本技術：分枝発生そのものを設計→受光ムラ低減、再現性↑。
- ◆ 想定効果：° Brix底上げ、着色均一化、作業コスト▲30～50%（機械化前提）。



従来比較：  
形成後の剪定 vs 形成前の分枝設計

## プロトコル(果樹)概略:分岐制御→仕上げ

- 設計段階: 品目 × 樹齢 × 樹勢で分岐抑制パラメータ(節間・枝角・枝序)を設定。
- 整枝誘導: 摘心／芽かきの位置と回数をモデルに従い最適化。
- 仕上げ: 物質Xを成熟後期に微量・少回数(処方非開示)。
- KPI: DLI(受光量)、LAI<sub>eff</sub>、° Brix、糖酸比、着色指数。



分岐制御

仕上げ

## 数理モデル：樹形—IAA—受光—糖度の連結

- LSM (Long-distance Signaling Model) を基礎：

$$\frac{dA_i}{dt} = p \cdot S_i - d \cdot A_i + \sum_{j \rightarrow i} k \Phi_{j \rightarrow i},$$

ただし頂端と葉位置でIAA産生、基部へ輸送。

- 受光モデル：Beer-Lambertで層別受光  $P = P_{\max} \left( 1 - e^{-k LAI_{eff}} \right)$ 。

- 配分モデル：ソース-シンク比で果実取り込み  $F_g = \phi_g \frac{S_g}{\sum S}$

- 結合：分枝抑制（枝序↓・角度↑・節間↑）→ LAI配置改善 → DLI↑ →  $F_g^\circ$  → ↑ Brix↑。

## 検証計画と目標値

- ✓ 設計: 2因子3水準(枝序ターゲット/枝角ターゲット) × 仕上げ(物質X有無)、乱塊法、n=5樹 × 3反復。
- ✓ 主要KPI: DLI +10~15%、LAI偏差▲30%、° Brix +0.5~+1.2、色差ΔE +2~+5。
- ✓ 副次: 収量±0~+5%、糖酸比 +0.3~+0.6、作業時間▲30~50%。
- ✓ 統計: 線形混合効果 + 因果推論(DID)、モデル適合度:  $R^2 > 0.6$  目標。



物質X処理

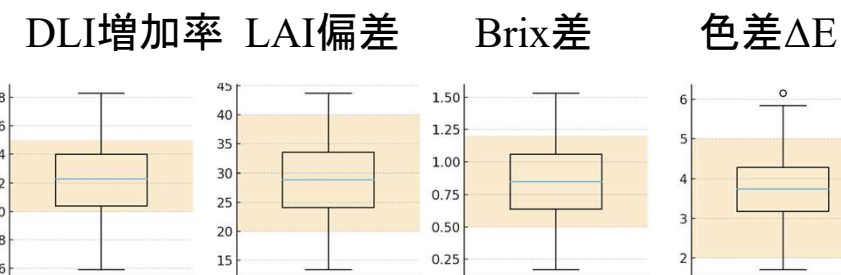


未処理



1.3倍の増量

設計: 2因子3水準(枝序=低/中/高、枝角=30/45/60°) × 仕上げ(物質X有/無)、RCBD(3ブロック)、各プロットn=5樹。



### 主要KPI(概ねの達成状況)

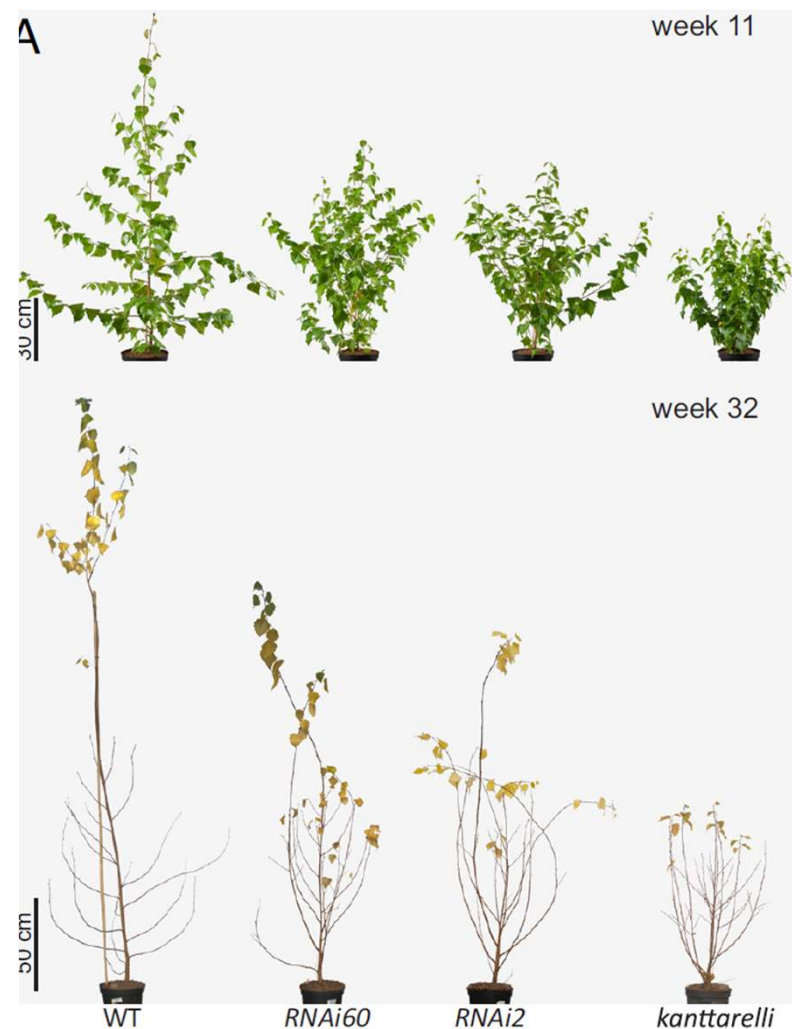
- DLI増加率: 中央値 ≈ 12~14%(ターゲット10~15%帯に収束)
- LAI偏差削減率: 中央値 ≈ 28~38%(目標20~40%帯)
- Brix差: 中央値 ≈ +0.7~+1.1°
- 色差ΔE: 中央値 ≈ +3~+5

### 副次KPI:

- 収量増減: 0~+5%域に大半が分布
- 糖酸比差: +0.3~+0.6域を中心
- 作業時間削減: 30~50%域に集中

## 適用領域：果実糖度制御と無節材（林業）

- ✓ 果樹：非クリマ果実（カンキツ・ブドウ・イチゴ等）で成熟後期の仕上げが親和。
- ✓ クリマ果実：収穫前最終段階で品質の均一化に寄与。
- ✓ 林業：主幹明瞭＋枝数・太さ抑制で無節化を狙う（価値最大化）。
- ✓ 経済価値：“背の高い直幹＋少ない細枝”が最良の製材。



## 実用化に向けた課題

### 再現性

- 地点・年次・品目による差異を克服するため、多点試験での検証が必要。

### 最適域

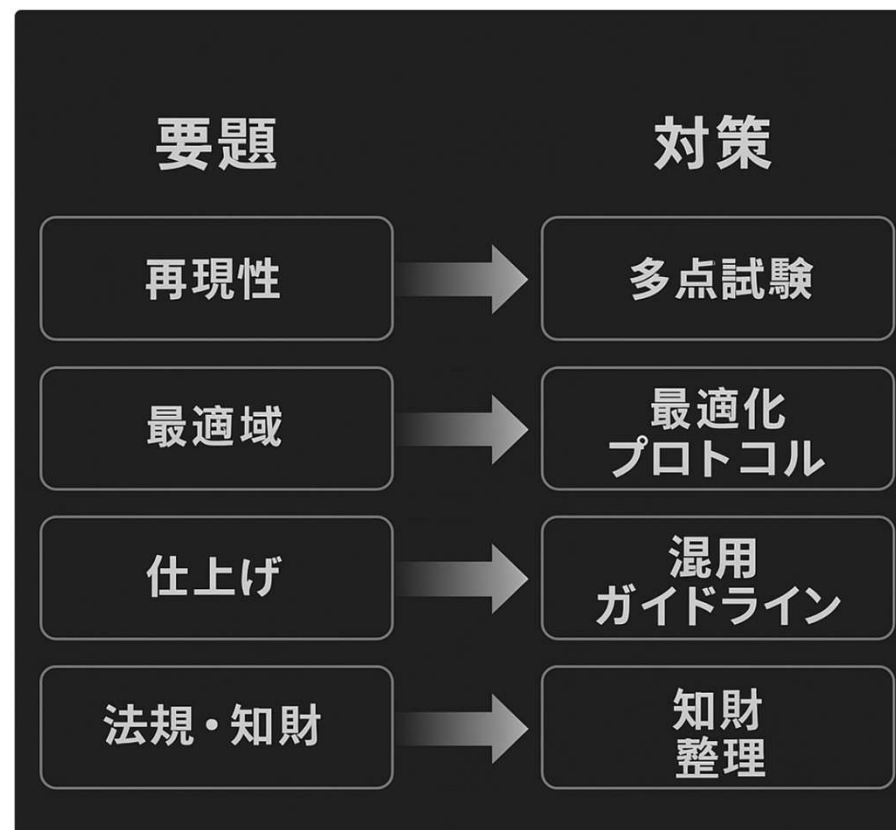
- 分枝抑制強度と果実サイズ・日持ちとのトレードオフ最適化が課題。

### 仕上げ(物質X)

- 混用適性と薬害閾値の確認が不可欠(処方是非開示)

### 法規・知財

- 表示・登録や用途特許整理、データ公開範囲の管理を要する。



# 社会実装ロードマップ(3年)

## Year1: 設計と基盤整備

- 果樹3品目(ブドウ・カンキツ・イチゴ)で分枝抑制パラメータをスクリーニング
- 枝序・枝角・節間長の条件と糖度・着色の関係を整理
- TLS(レーザースキャン)×数理モデルを統合したデジタルツインを確立

## Year2: 実証と安全性評価

- 複数拠点・複数年での多点実証により、気象や土壌差を超えた再現性を検証
- GLP準拠の安全性・環境影響評価を実施(残留性・土壌影響・混用性)
- 各品目に共通する横断的な設計指標を整備

## Year3: 製剤化と展開準備

- 物質Xの製剤最適化とパイロット供給を実施
- 現場運用手順書(SOP)を整備し、農家・企業での試験導入を開始

林業並行: 無節材率モデル構築(枝起源Poisson:  $CWR = e^{-\alpha N_b}$ )。

## 企業への期待（共創テーマ）

### 製剤企業

- ✓ 物質Xの安定化・量産・品質保証で共同開発
- ✓ 低濃度処理での効果維持や長期保存性の確立を目標

### センシング企業

- ✓ TLS/LiDAR、果実着色カメラ、分光カメラを活用した樹形・果実品質のリアルタイム評価
- ✓ 点群データをAI解析し、樹形と糖度・着色の因果関係を可視化

### 農機メーカー

- ✓ ロボティクス剪枝・摘心機を分枝抑制モデルと連携
- ✓ AI制御により、樹勢に応じた精密作業の自動化を実現

### 林業分野

- ✓ 造林設計と苗木育種においてCWR（無節化率）に基づく共同実証
- ✓ 高品質無節材の効率育成と歩留まり向上を目指す

### 価値連鎖の全体像

研究（分枝抑制メカニズム・IAA-SL作用解明） → 製剤（物質X最適化） → 実装（センシング・ロボティクス連携） → 市場（果実糖度制御・無節材林業）



## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 植物の果実の糖度上昇剤及び植物の果実の糖度を上昇させる方法出願番号 : 特願P2025-034739
- 出願人 : 宇都宮大学、静岡大学
- 発明者 : 謝、河岸

# お問い合わせ先

宇都宮大学

地域創生推進機構 社会共創促進センター

TEL : 028-649-5502

FAX : 028-649-5497

e-mail [uu.cpssc@cc.utsunomiya-u.ac.jp](mailto:uu.cpssc@cc.utsunomiya-u.ac.jp)