



茶葉摘採機の開発に関する基礎的研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2008-02-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 槐島, 芳徳 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10458/1160

茶葉摘採機の開発に関する基礎的研究

槐島 芳徳

1 9 9 3

茶葉摘採機の開発に関する基礎的研究

【 目 次 】

ページ

序 章

1. 緒 言	1
2. 従来の研究	3
(1)折摘み機構	3
(2)こぎ摘みロール機構の概略	3
a. 概 要	3
b. こぎ摘み穴の形状に関する実験	5
(a)実験装置と実験の概略	5
(b)実験結果	5
c. 茶茎モデル実験	7
(a)実験装置と実験の概略	7
(b)実験結果	8
3. 本研究の目的	9

第 I 章 基礎的設計要素の設定

1. こぎ摘みロールの設計に関する理論解析	11
(1)最大作業速度の設定	11
(2)直線モデルによる茶芽の誘導姿勢のシミュレーション	14
a. ロス高さとかぎ摘みロールの直径との関係	14
b. 直線モデルの設定	15

	ページ
(a)こぎ摘み作用のみを生じる速度比の設定	16
(b)茶芽の損失長さ	17
(c)誘導姿勢のシミュレーション	18
c.こぎ摘みロールの全長の決定	22
2.現場用すごき試験器による実験	24
(1)実験装置および実験方法	24
a.現場用すごき試験器	24
b.実験条件	26
(2)実験結果および考察	28
a.破断率	28
(a)1心3葉摘採の場合	28
(b)1葉摘採の場合	29
b.こぎ摘み抵抗力	31
(a)校正方程式の作成	31
(b)1心3葉摘採の場合	31
(c)1葉摘採の場合	33
3.まとめ	38

第Ⅱ章 こぎ摘みユニットによる室内摘採実験

1.実験装置	40
2.実験条件	44
3.実験結果および考察	45
4.まとめ	49

第Ⅲ章 かみ込み作用の解明

1. かみ込み作用の構成要素	51
2. 摩擦要素の理論解析	54
(1)理論解析	54
a. リード角を考慮した場合	54
b. 茶茎の誘導姿勢を考慮した場合	59
(2)摩擦係数の測定実験	62
a. 実験装置	62
b. 実験条件	64
c. 実験結果および考察	64
(a)加圧力および摩擦力の校正	64
(b)実験結果および考察	65
3. こぎ摘み力の要素に関する実験	68
(1)実験装置	68
a. 茶茎切断実験	68
b. 切断位置の検出実験	69
(2)実験条件	71
a. 茶茎切断実験	71
b. 切断位置の検出実験	71
(3)実験結果および考察	72
a. 茶茎切断実験	72
(a)切断率	72
(b)最大垂直力と最大トルク	73

	ページ
b. 切断位置検出実験	76
(a) 切断率	76
(b) 切断トルク	78
(c) 切断位置	78
4. まとめ	80

第IV章 摘採機の試作と摘採生葉の品質

1. 摘採機の概要	84
(1) 摘採部	85
(2) 走行部	86
(3) 油圧昇降機構	88
(4) 生葉捕集部	88
2. 実験条件	89
(1) 栽培条件	89
(2) 摘採生葉の性状分類	90
(3) 実験方法および実験条件	91
(4) 製茶工程	92
3. 実験結果および考察	93
(1) 作業精度	93
(2) 官能審査	97
4. まとめ	100

目次・・・ 5

ページ

謝 辞

105

参 考 文 献

106

《本論文でを使用した主な記号の説明》

- D : こぎ摘みロールの直径 ($= 2R$) [mm]
- k : こぎ摘みロールの全長 [mm]
- ℓ : こぎ摘みロールの先端部の長さ [mm]
- P : らせん溝のピッチ [mm]
- L : らせん溝のリード [mm]
- θ : 摘採角度 [$^{\circ}$]
- α : らせん溝のリード角 [$^{\circ}$]
- v_1 : こぎ摘みロール機構の処理速度 [m/s]
- v_2 : 作業速度 [m/s]
- v_{2MAX} : 理論上の限界作業速度 [m/s]
- s : 速度比 ($=$ 処理速度 v_1 / 作業速度 v_2)
- s_{LIM} : 茶芽の誘導姿勢が直線モデルの時、茶芽がこぎ摘み作用のみを受ける速度比
- N : こぎ摘みロールの回転速度 [rps]
- λ : 出開度 (茶芽の成熟度) [%]
- ρ : 茶芽の植生密度 [本 / cm^2]
- R_A : $v_2 > v_{2MAX}$ の時の誘導率 (算出値) [%]
- β : 誘導開始時の茶芽の前傾角 [$^{\circ}$]
- H_P : 摘採高さ (誘導開始点から上の茶芽の長さ)
- H_I : 誘導高さ (こぎ摘みロール先端から上の茶芽の長さ)
- H_L : ロス高さ ($= H_I - H_P$)
- $S_0 \sim S_3$: 茶芽の誘導姿勢
- e : 芽長 (樹冠整枝面から芽頂までの長さ)

- e_p : 茶芽の有効摘採長さ
 e_L : 茶芽の損失長さ
 ϕ, ϕ' : こぎ摘みロールと茶茎の接触角 [°]
 μ : こぎ摘みロールと茶茎との摩擦係数
 d, d' : 茶茎の直径 [mm]
 γ : 誘導時の茶茎のたわみ角 [°]
 F, F' : 茶茎を押す力
 x_A, x_A' : こぎ摘みロール断面と茶茎断面とが接する接点の x 座標
 H_T : 摩擦係数測定実験時の摩擦力 [N]
 V_T : " 加圧力 [N]
 P_F : こぎ摘み抵抗力 [N]
 δ : 現場用すごき試験器におけるこぎ摘み穴部の
取付角度 [°]
 v_u : " 測定部の上昇速度 [m/s]

序 章

1. 緒 言

現在市販されている茶葉摘採機の摘採機構には、往復動刃型、シリンダ刃型、および回転刃型等がある。これらは、茶芽を同一の摘採高さで刈取るため、切れ葉の発生はもちろん、不適切な摘採高さや生育不揃いに起因する木質茎および古葉等が摘採生葉に混入する。切れ葉は、製茶工程に投入する前の一時貯留の間に発酵するため、緑茶としての品質を低下させる。また木質茎や古葉は、均一な加工を阻害し、品質低下の要因となっている。このため、中川¹⁾は、刈刃の処理速度と作業速度との関係からそれぞれの刃型に適した使用条件を設定し、さらに刈刃の位置の自動制御²⁻⁵⁾を検討した。また久能ら⁶⁾は、往復動刃型摘採機構について研究を行い、その有用性を明らかにしている。

最近では、往復動刃の耐摩耗性を向上したセラミック刃⁷⁾、半畝型より作業能率を向上した一畝型摘採機の開発⁸⁾も見られる。セラミック刃は、鋼製刃に比べて受刃と動刃との摩耗による間隙の拡大が小さいために茶ヤニの付着が少なく、長時間使用しても切れ味の劣化が少ない特徴がある。また、一畝型摘採機では、問題となった摘採機の蛇行に伴う畝側面での摘採高さの変動が蛇行の抑制機構の開発により解決された。さらに、摘採高さがミリメートル単位で調節できるレール式摘採機⁹⁾も開発され、茶園管理の効率化と傾斜地での利用等を合わせて摘採生葉の高品質化を目指している。

一方、一部の茶業農家では、高級茶志向の消費者ニーズに応えるため、品質低下を生じることの少ない手摘み作業を行っており、

市場においても手摘み生葉を用いた製品の評価は、機械摘みのものに比べ高くなっている。しかし、傾斜地における摘採作業の負担は大きく、しかも、後継者不足、作業者の高齢化、および女子労働の増加など農村労働力が大きく変化しているため、手摘み作業による摘採負担面積の維持、拡大は困難となっている。このため、摘採作業では作業能率の向上と合わせ、生葉の品質向上が重要な課題となる。

一般に茶芽は、芽頂に近くなるのに伴い、製茶時の揉捻・乾燥工程における茶葉と茎との水分拡散の差が小さくなる。このため、1心2葉や1心3葉（図1参照）の部位で摘採できれば、木質茎が混入しない上に加工が容易となり、高品質で均一な製品を得ることができる。しかし、栽培環境や栽培管理から生じる新芽の生育むらや、上述の部位に高低差を生じるため、従来の摘採機ではその部位の高い位置による摘採（上段摘み）を行う必要がある¹⁰⁾。

これに対し、手摘みは茶芽の1本ごとの生育に対応して摘採できる。すなわち、手摘みでは、視覚による茶芽の位置、および形状の確認や指の触覚による柔らかい芽の部分の検出が可能であるため、良質の生葉を収穫することができる。

この手摘みには、いくつかの手法があり、それぞれ独自の特徴を有する。例えば「折摘み」は、柔らかい茎を1芽ずつ折取るため、作業能率は低いものの良質の生葉が得られる。さらに「こぎ摘み」は、茶芽の下部を親指と人差し指ではさみ、芽頂方向にすごき上げる方法で、これも生育に対応した摘採が可能であり、折摘みに比較して生葉の品質は若干劣るが、作業能率は高くなる。

このように、茶樹の仕立に関係なく1心2葉ないし1心3葉の均

一で良質な茶芽を収穫するには、選択的摘採を行う必要がある。このため、前述の手摘みの手法に類似したいくつかの摘採機構の開発研究が行われてきた。以下にそれらの特徴と問題点を述べる。

2. 従来の研究

(1) 折摘み機構

茶芽は、成長するにつれて下部から木質化する。そこで、良質でしかも収量を多くする摘採方法としては、この木質化した最先端部で折取り、摘採された茶茎に木質部を含まないことが重要となる。

このような折摘み機構に関する研究としては、茶茎を2点支持し、その中央に荷重をかけて折り取る中川ら^{11, 12)}の報告がある。一方、岡田ら^{13, 14)}は、木質茎のない先端部を捕捉し、他の1点を支点にして茎に曲げ作用を与えることができる2種類の摘採方法を考案した。しかし、これらの方法を用いた摘採実験では、茶芽を確実に折断できなかったことから摘採率の低下を招き、さらに、1本の茶芽に対して2度以上の摘採作用を加えたために損傷芽が発生したこと等、解決すべき課題が明らかとなった。

(2) こぎ摘みロール機構の概略^{15, 16)}

a. 概要

前述の実験結果等から新しい摘採機構を開発する上で解決しなければならない課題には、①茶芽を確実に摘採すること、②1本の茶芽には1回で摘採が終了すること、③連続的に摘採ができること等が挙げられる。これらの課題を解決するこぎ摘み機構としては、いくつか考えられるが、岡田ら¹³⁾は以下に述べるこぎ摘みロール機

構を考案した。

本機構では、まず、茶芽の下端をその茎の径より若干大きめの円形の穴に挿入し、この穴を芽頂方向へ移動することでこぎ摘みと同様の摘採作用（以下、こぎ摘み作用という）を生じさせる必要がある。このこぎ摘み作用を得るには、茶芽の下部をこぎ摘み穴へ挿入する必要があるが、茎の径に近い丸い穴に、展開した茶葉を通過させて挿入することは、実際には不可能である。そこで、こぎ摘み穴を2分割し、そこへ茶芽を誘導し、再びこぎ摘み穴を形成して芽頂方向にそれを移動する機能が必要になる。そこで、これらの機能を連続的に生じ、しかも構造も単純なこぎ摘みロールを考案した（図1）。

こぎ摘みロールは、半円形のらせん溝がそれぞれ左右対象に加工された2本1対の円筒である。らせん溝のピッチが同一のため、それぞれのらせん溝の山と山を合わせ、軸線を平行にして側面を接触

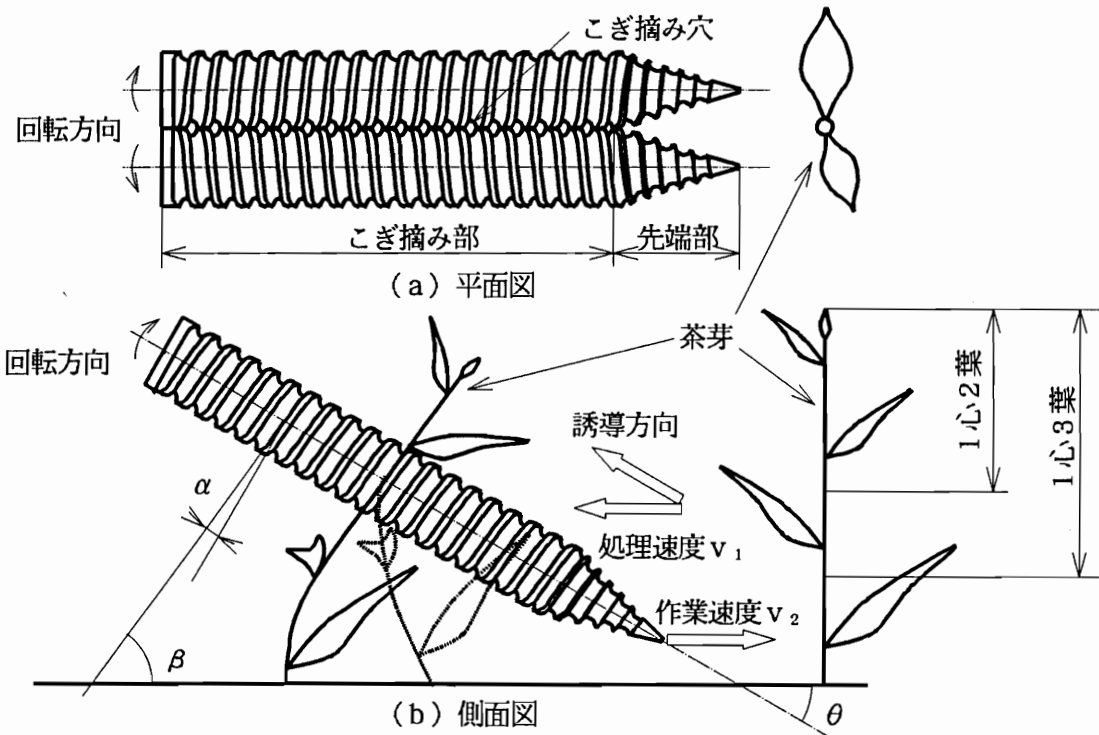


図1 こぎ摘みロール

させるとその線接触部分（以下、こぎ摘み部という）に等間隔のこぎ摘み穴が形成される。このこぎ摘み穴へ茶芽を誘導するため、こぎ摘みロールの先端（以下、先端部という）は円すい形をなし、そこには先端に向かってらせん溝を漸次小さくなるように加工した。

そしてシャフトを介した末端部には、1対の平ギアがかみ合い、こぎ摘みロールは図の矢印の方向へ互いに逆回転する。この回転運動によってこぎ摘み部の先端でこぎ摘み穴が形成され、そのこぎ摘み穴へ先端部から茶芽が導かれ、こぎ摘みロールの末端方向へ茶芽は移動する。さらに側面図に示すように、こぎ摘みロールの先端を角度 θ （以下、摘採角度という）に傾斜すれば、茶芽の末端方向への移動に伴い、こぎ摘み穴が芽頂方向に移動しながらこぎ摘み作用を生じる。

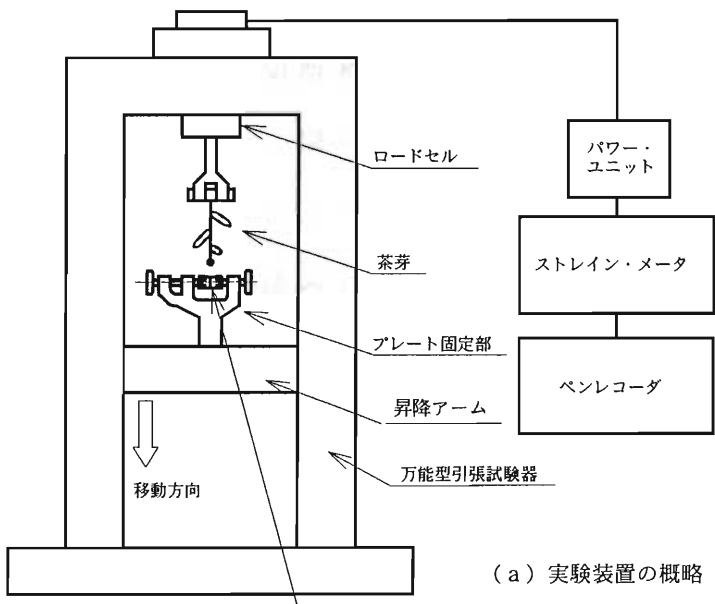
以上のような作用を生じるこぎ摘みロール機構に対して各種の設計要素を設定するため、以下に述べるいくつかの基礎実験を行った。

b. こぎ摘み穴の形状に関する実験¹³⁾

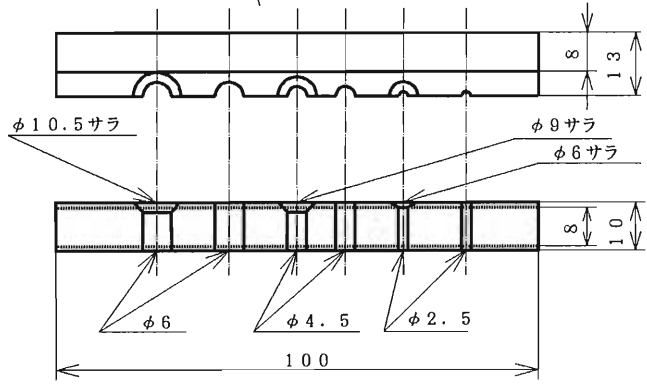
(a) 実験装置と実験の概要

こぎ摘み穴は、生葉品質に直接影響する要素であるため、その大きさと形状の決定が重要となる。そこで万能型引張試験器（東洋測器製、UTM-4L）を主要な構成とする装置（図2）に $\phi 2.5, 4.5, 6.0$ mmのキリ穴（サラモミ有・無）の計6種類のこぎ摘み穴（(b)の2分割プレートに加工）を使用し、こぎ摘み穴形状と摘採生葉の性状との関係を調べた。

実験は、各種こぎ摘み穴に挿入できる最大本数（ $\phi 2.5$ mmでは1本、 $\phi 6.0$ mmでは3本）までの茶芽を供試し、1心3葉の茶芽を摘



(a) 実験装置の概略



(b) 2分割プレートの拡大図

図2 実験装置

採した際の摘採茶葉の性状とこぎ摘み抵抗 F_p を測定した。ここで、こぎ摘み抵抗 F_p は、こぎ摘み穴で茶芽をすごく際に、こぎ摘み穴に対して垂直方向に生じる抵抗力である。なお、摘採生葉は、欠損長によって図3に示す3性状に区分した。

(b) 実験結果

こぎ摘み穴の径について見た場合、径

の異なるこぎ摘み穴へ茶芽を最大本数供試した時には、品質の高い

正常葉 (欠損長: 3mm以下)	小切れ葉 (欠損長: 3~10mm)	大切れ葉 (欠損長: 10mm以上)
<p>正常芽</p>		

図3 摘採生葉の分類

正常葉 (1心1~3葉の正常芽や無傷の茶葉) の葉数割合が高かったのに対し、供試本数の減少時には、切れ葉、

および不摘採葉（摘採されずに残った葉）の増加が見られた。ただし、切れ葉は、切断摘採機構による摘採の際に見られる直線状の切り口とは異なり、図のように裂けた性状の切り口の葉であった。また、サラモミの加工により切れ葉の少ない良質な生葉が得られたこと等から、こぎ摘みロールには $\phi 2.5\text{mm}$ のこぎ摘み穴を加工し、1個のこぎ摘み穴で1本の茶芽を摘採する機能（1芽1穴方式）が有効であることが判明した。

c. 茶茎モデル実験¹⁷⁾

(a) 実験装置と実験の概要

本実験では、こぎ摘みロールを設計・試作し、1芽1穴方式の誘導機能を有するか否かを検討し、さらに誘導時の茶芽の姿勢を観察した。このため、こぎ摘みロールを定位置で回転させるこぎ摘み部とこぎ摘み部へベルトコンベアにより供試材料を移動・供給する供給部から構成される室内実験装置（図4）を製作し、摘採部の処理速度 v_1 と供給部の作業速度 v_2 との関係を変化できるようにした。

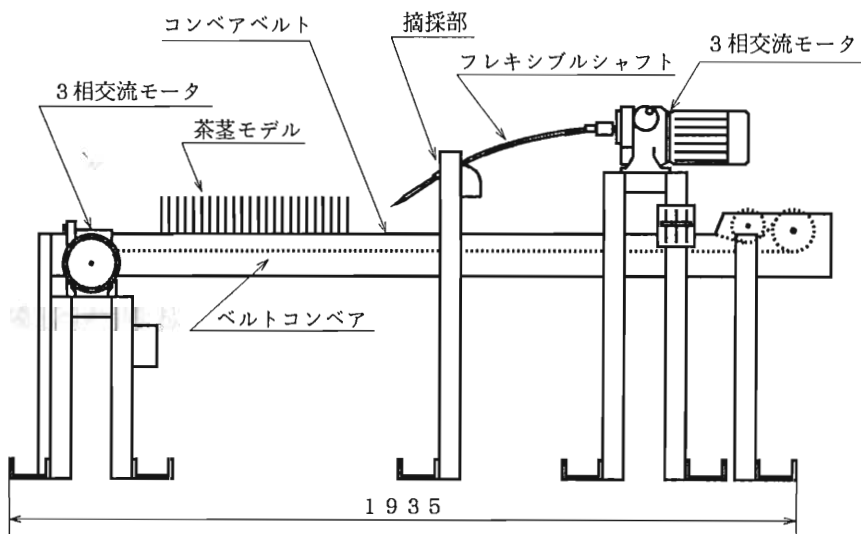


図4 実験装置

ただし、処理速度 v_1 は、こぎ摘み穴がこぎ摘みロールの軸線上を末端方向へ移動する速度の水平成分（第I章の(1)式

参照)を示し、作業速度 v_2 はこぎ摘みロール機構の前進速度、すなわち茶芽の供給速度である(図1参照)。

また、誘導性能を調べるため、らせん溝のピッチを同じにしてリードをピッチと同一にした1条こぎ摘みロールとリードをピッチの2倍にした2条こぎ摘みロール(図1)を用いた。なお、こぎ摘みロールの直径は $\phi 20\text{mm}$ 、こぎ摘みロールの長さは、こぎ摘み部が100mmと先端部が20mmの全長120mm、形成されるこぎ摘み穴の径は $\phi 5\text{mm}$ とした。また、供試材料には、茶芽の柔軟性に近い茶茎モデル(長さ100mm、 $\phi 0.7\text{mm}$ のワイヤに内径1mm、外径3mm、長さ100mmのゴム管を挿入したもの)を、植生密度 $\rho^{18)}$ を考慮した植生間隔(20~5mm)で列状(列長さ250~500mm)に、かつ直立姿勢となるように用いた。

実験は、速度比 $s (= v_1 / v_2)$ を0.4~1.6の間に0.2間隔、および摘採角度 θ を40~70°の間に10°間隔に設定した。なお、茶茎モデルがこぎ摘み穴に誘導されたか否かは、実験時の観察、および誘導状態を撮影したビデオ映像によって確認した。

(b)実験結果

1条こぎ摘みロールでは、ほぼ100%の誘導率(供試本数に対する誘導本数の割合)を示した。また2条こぎ摘みロールでも1条の場合と同様にほぼ100%を示した(表I-1参照)ものの、速度比が $s > 1$ の時にこぎ摘みロールの下面で茶茎モデルをかみ込む現象が多く見られた。これは、速度比 s が $s > 1$ のために、図1の破線に示すようなかみ込みを起こす姿勢に茶茎モデルが変形されたこと、さらに、リード角 α が1条こぎ摘みロールでは6.4°なのに対し、2条こ

ぎ摘みロールでは 12.8° となり、後者のリード角 α の増加がこぎ摘み穴付近で茶茎モデルを大きく屈曲したため、かみ込みが生じ易くなったと考えられる。なお、かみ込み現象が生じた場合以外では、1芽1穴方式の誘導性能が確認され、1本の芽に対して2回以上の摘採を行わないとした課題、および連続的摘採の課題を満足する結果が得られた。

3. 本研究の目的

以上の基礎実験からいくつかの課題を満足する結果が得られたものの、同時に、新たな問題点も生じた。ここで、その問題点を整理すると、次の2点が挙げられる。

- ・ 速度比 s が $s > 1$ の時に、こぎ摘みロールの下面で茶茎モデルをかみ込む現象が見られ、茶芽の誘導姿勢が大きく関係する「かみ込み作用」が原因と考えられる。この現象は、実際に本機構によって茶芽を摘採する際に、すごきではなく茶芽の切断となって現れる恐れがある。

- ・ 本機構では、こぎ摘みロールの穴径について実験的に適切な値 ($\phi 2.5\text{mm}$) が得られたものの、かみ込み発生の原因と考えられたらせん溝のリード角 α 、こぎ摘みロールの長さ等の設計要素、および速度比 s で示される本機構の使用条件について適切な値や範囲を設定する方法がない。

ここで、かみ込み作用による茶芽の切断は、茶芽の木質茎部分でも生じると考えられるため、本機構による摘採生葉の品質低下が予想される。そこで、本研究ではこれらの問題点に注目して、かみ込み作用の発生の防止を目的としたこぎ摘みロール機構の設計要素の

設定を理論的、かつ実験的に検討する。これにより、主作用であるこぎ摘み作用の特徴を明確に示す本機構の開発を行う。このため、以下の段階を経て本研究を展開する。

まず、本機構の適切な使用条件と基礎的な設計要素を設定するため、第Ⅰ章では、それらの条件と要素を設定する2種類の理論解析について述べる。さらに、本機構の主作用であるこぎ摘み作用の発生メカニズムを解明するために現場用すこぎ試験器を開発し、これを用いた摘採実験について述べる。

第Ⅱ章では、茶芽の誘導から摘採茶葉の処理までの機能を一体化したこぎ摘みユニットを試作し、これを用いた室内摘採実験を行った。これにより、本機構の摘採性能を調べ、さらに、前述の「かみ込み作用」の発生の有無を確認する。

第Ⅲ章では、かみ込み作用の発生を防止した適切なこぎ摘みロール機構の設計要素を得るため、かみ込み作用の発生メカニズムが複数の要素から構成されたと考え、茶芽の切断に大きく影響すると考えられる摩擦要素とこぎ摘み力の分力の要素について理論的、かつ実験的な解明を行う。これから、各要素の茶芽の切断に対する影響の大きさを調べて切断の主要因となる要素を求め、その要素の発生を防止した設計要素の設定を検討する。

第Ⅳ章では、本機構の性能を摘採生葉の品質面で検討するために摘採機を試作し、これを圃場実験に供試して摘採生葉の品質を調べる。さらに、得られた摘採生葉を製茶して官能審査を行い、市販の摘採機構による茶製品との比較を行う。そして、最後の第Ⅴ章で総括する。

第 I 章 基礎的設計要素の設定

こぎ摘みロール機構の基礎的な設計要素を明らかにすることは、本機構の適正な利用範囲と設計条件を設定する上で重要である。

そこで、本章では、こぎ摘み穴の形成数と摘採する茶芽本数との関係から設定する本機構の処理能力の限界、さらに、茶芽に直線モデルを用いた時の誘導姿勢の変化をシミュレーションする 2 種類の理論解析について述べる。

次に、こぎ摘みロール機構の主作用のこぎ摘み作用について摘採特性を明らかにするため、こぎ摘み作用のみを生じ、かつ、こぎ摘みロールのこぎ摘み穴と類似した摘採を行う現場用すごき試験器を開発して供試した。本試験器は、序章で述べたこぎ摘み穴の形状に関する実験と異なり、茶樹に生育した状態の茶芽を供試対象とする。すなわち、序章の実験では茶芽の下端を固定して用いたのに対し、本実験ではこぎ摘み力による枝のたわみを伴ったすごきが可能である。これを用いて 2 種類の実験を行い、こぎ摘み作用のメカニズムを明らかにする。

1. こぎ摘みロールの設計に関する理論解析

(1) 最大作業速度の設定¹⁷⁾

こぎ摘みロール機構では、供給される茶芽本数と処理できる茶芽本数との関係から、理論的に誘導性能を設定することができる。ただし、以下で用いるこぎ摘みロールの処理速度 v_1 は、次式のよう
に水平面に投影した速度で表わす。

$$v_1 = L \cdot n \cdot \cos \theta \quad [\text{cm/s}] \quad (1)$$

ただし、 L : こぎ摘みロールのらせん溝のリード [cm]

n : こぎ摘みロールの回転速度 [rps]

なお、速度比 s は、

$$s = v_1 / v_2 \quad (2)$$

である。

直径 D [cm] のこぎ摘みロールにおけるらせん溝は、多条ネジに類似した構成であるため、そのピッチとリードをそれぞれ P [cm]、 L [cm] とし、この L/P 条のこぎ摘みロールの回転速度を n [rps] とすると、1秒間に形成されるこぎ摘み穴の数 N_1 は次のようになる。

$$N_1 = \frac{L}{P} n \quad [\text{個/s}] \quad (3)$$

また作業速度 v_2 [cm/s]、茶芽の植生密度 ρ [本/cm²]、および1対のこぎ摘みロールの最低作業幅が $2D$ であるから、1秒間に処理する茶芽本数 N_2 は、

$$N_2 = 2D \cdot v_2 \cdot \rho \quad [\text{本/s}] \quad (4)$$

となる。これから本機構の処理能力の限界として次式が成り立つ。

$$N_1 \geq N_2$$

以上から本機構の最大作業速度 $v_{2\text{MAX}}$ は、

$$v_{2\text{MAX}} = \frac{L \cdot n}{2D \cdot P \cdot \rho} \quad [\text{cm/s}] \quad (5)$$

となる。

次に、作業速度 v_2 が $v_2 > v_{2\text{MAX}}$ の時には、こぎ摘み穴に誘導できない茶芽を生じることになる。この場合の誘導率 R_A は、

$$R_A = \frac{N_1}{N_2} \times 100 = \frac{\frac{L}{P} n}{2D \cdot v_2 \cdot \rho} \times 100 \quad [\%]$$

となり、これに(1),(2)式を代入すると

$$R_A = \frac{s}{2D \cdot \rho \cdot P \cdot \cos \theta} \times 100 \quad [\%] \quad (6)$$

が得られる。

この誘導率 R_A の理論値は、前章で述べた茶茎モデル実験の結果に使用した。その結果の1例を表 I -1 に示す。

表は、2条こぎ摘みロールによる実測の誘導率の平均値を示し、括弧内の数値は(6)式による誘導率 R_A の計算値を表す。これから、植生密度 ρ が高く、摘採角度 θ が大きく、および速度比 s が小さいほど誘導率 R_A は低下しているが、実測の誘導率はほぼ100%を示した。この原因は、茶茎モデルが軟質のゴム製であることにくわえ、未形成のこぎ摘み穴に滞留した複数の茶茎モデルがこぎ摘みロール

表 I - 1 2条こぎ摘みロールにおける誘導率 (%)

摘採角度 (°)	植生密度 (本/cm)	速度比 $s (=v_1/v_2)$						
		0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
40	0.13	100.0	100.0 ②	100.0 ②	100.0	100.0 ②	- ③	- ③
	0.26	100.0 (71.7)	100.0	100.0 ②	100.0	100.0 ①	100.0 ①	100.0 ②
	0.51	100.0 (36.5)	100.0 (54.8)	100.0 (73.1)	100.0 (91.3)	100.0	100.0	100.0
50	0.13	100.0	100.0 ②	100.0 ①	100.0	100.0	100.0	100.0
	0.26	98.7 (85.4)	- ③	- ③	100.0	100.0	100.0	100.0 ①
	0.51	99.3 (43.5)	100.0 ② (65.3)	100.0 (87.1)	100.0	100.0	100.0	100.0
60	0.13	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	0.26	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	0.51	99.3 (56.0)	96.7 (84.0)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
70	0.13	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	0.26	100.0	98.0	99.3	99.3	100.0	100.0	100.0
	0.51	94.8	98.7	94.1	97.4	99.3	99.3	100.0

備考) 括弧内は、(6)式による誘導率 R_A の計算値
○中の数字は、かみ込み回数を示す

の先端部に接触し、その摩擦力によって引抜けが生じ、これを誘導と判断したためであった。これより、本機構によって実際の茶芽を摘採する場合、誘導されずに不摘採の茶芽を生じる可能性がある。

(2)直線モデルによる茶芽の誘導姿勢のシミュレーション

a. ロス高さとかぎ摘みロールの直径との関係

図 I - 1 に示すように、こぎ摘みロールは直径 D 、摘採角度 θ 、および先端部の円すい面下端が水平面と平行になるように設定する。この場合、こぎ摘みロールがこぎ摘み穴の形成を開始する点は図中の点 A である。

ここで、こぎ摘みロールの全長を k 、および先端部の長さを ℓ とした時、茶芽の誘導を開始する誘導高さ H_1 は、

$$H_1 = k \sin \theta$$

となる。しかし、実際にこぎ摘み作用を生じるのは、前述の点 A より上のこぎ摘み部であることから、摘採高さ H_p は

$$H_p = (k - \ell) \sin \theta$$

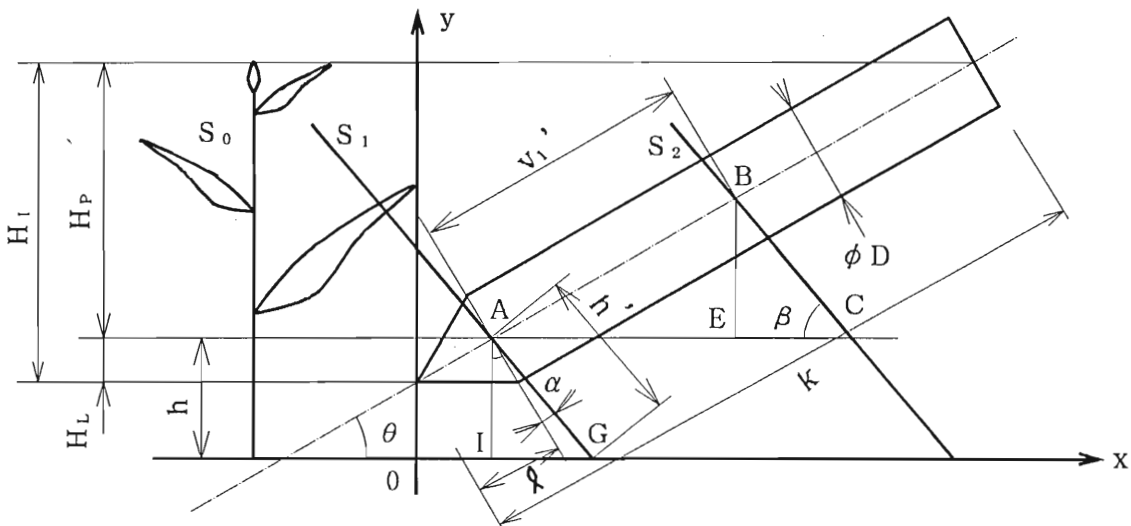


図 I - 1 こぎ摘みロールの設計要素
(速度比 $s = s_{LIM}$ の時の誘導姿勢)

となり、誘導高さ H_1 と摘採高さ H_p の間にロスを生じ、これをロス高さ H_L とすると

$$H_L = H_p - H_1 = l \sin \theta = \frac{D}{2} \cos \theta$$

となる。ここで点 A の位置を一定、つまり摘採高さ H_p を一定にして、こぎ摘みロール径 D を大きくすると、ロス高さ H_L が大きくなり、その結果、誘導高さ H_1 が大きくなることから、古葉・木質茎の摘採を行う可能性がある。このため、こぎ摘みロール径 D をできるだけ小さく設計することは、ロス高さ H_L も小さくなるため、古葉等の摘採が避けられる。しかし、こぎ摘みロール径 D を小さくすることは、こぎ摘み抵抗力 F_p によるこぎ摘みロールの曲げ強度の面やせん溝の加工等から限界がある。

b. 直線モデルの設定

こぎ摘みロールでの茶芽の誘導姿勢は、茶樹に植生する位置と誘導したこぎ摘み穴の位置との関係から示され、この関係に最も影響を及ぼすのが茶茎の物理性（弾性係数等）である。この誘導姿勢を理論的に解析するには、一般の材料工学等で示される微小量の変形（たわみ）に関する解析方法を適用するには限界があるため、柔らかい茎の大きなたわみを検討した研究¹⁹⁻²²⁾等を用いる必要がある。

しかし、本章では、上述のたわみを無視して、茶芽の誘導姿勢を簡単な直線で表した誘導モデルを想定した。このモデルを用いて、④茶芽がこぎ摘み作用のみを受ける速度比 s_{LIM} の設定、⑤茶芽の損失長さ e_L 、⑥誘導姿勢のシミュレーション、および⑦こぎ摘みロール全長 k について述べる。

(a)こぎ摘み作用のみを生じる速度比の設定

誘導モデルを設定するにあたり、図 I -1に示すxy座標系上で定位回転するこぎ摘みロール、および x軸上を作業速度 v_2 で移動する直線モデルの茶芽を考える。なお、摘採角度 θ で傾斜するこぎ摘みロールの先端は y軸上にあり、その先端部の円すい面下端は x軸と平行になるように設定する。

一方、こぎ摘み部の誘導開始点の A点において、直立状態の茶芽 S_0 は、序章で述べた茶茎モデル実験のビデオ観察から、誘導姿勢 S_1 に示すように、摘採角度 θ とこぎ摘みロールのらせん溝のリード角 α から決定される前傾角 β

$$\beta = \frac{\pi}{2} - (\theta + \alpha)$$

に近似した傾斜を行うことがわかっている。茶芽は、この状態を経てこぎ摘みロール末端方向へと移動し、その間にこぎ摘み作用を受けて摘採される。

この時、こぎ摘み作用のみを受ける誘導姿勢は、らせん山との交差のない前傾角 β を維持した S_2 の姿勢になる。そこで、この誘導姿勢を生じる速度比 s_{LIM} を求めるために、こぎ摘みロール軸線と姿勢 S_2 との交点を B、点 A から x軸に平行に引いた直線が、姿勢 S_2 と交わる点を C とした $\triangle ABC$ を考える。なお、 $\angle BAC$ は摘採角度 θ 、 $\angle BCA$ は前傾角 β である。また、点 B からの垂線が、線 AC と交わる点を E とすると、 $\angle CBE$ は $\alpha + \theta$ になる。

ここで、 $\triangle ABC$ における辺の長さは、誘導開始点 A から一定時間の間に移動した長さになるから、 \overline{AC} が作業速度 v_2 の大きさ、 \overline{AB} が

こぎ摘み穴の移動距離、これを x 軸に正射した長さが処理速度 v_1 の大きさとなる。すなわち

$$\overline{AC} = \overline{v_2}, \quad \overline{AB} = \overline{v_1'} = \frac{\overline{v_1}}{\cos \theta}$$

である。これから、 s_{LIM} を求めるためには、作業速度 v_2 を処理速度 v_1 で表した関係式が必要になる。この式を求めるために、

$$\overline{BE} = \overline{v_1'} \sin \theta$$

であるから、 \overline{CE} は

$$\overline{CE} = \overline{v_1'} \sin \theta \tan(\theta + \alpha)$$

で示される。これから作業速度 v_2 は、

$$\overline{v_2} = \overline{v_1'} \cos \theta + \overline{CE} = \overline{v_1} \{1 + \tan \theta \tan(\theta + \alpha)\}$$

となり、上式から

$$s_{LIM} = \frac{\overline{v_1}}{\overline{v_2}} = \frac{1}{1 + \tan \theta \tan(\theta + \alpha)}$$

が得られる。すなわち、この速度比 s_{LIM} の条件の下では、こぎ摘みロールの下面において茶芽とらせん山とは接触しないことから、茶芽にはこぎ摘み作用のみが作用することになる。

(b) 茶芽の損失長さ

茶芽の損失長さ e_L は、茶芽がこぎ摘みロールで誘導を開始されるまでの間、十分なこぎ摘み作用を受けられずに不摘採の発生が考えられる茶芽の部分的長さである。すなわち、直立状態で供試された茶芽 S_0 が前傾角 β の姿勢 S_1 に変化した時、姿勢 S_0 における整枝樹冠面 (x 軸) から A 点までの高さ h と、姿勢 S_1 における整枝樹冠面の着生位置から A 点までの長さ h' との差である。

図 I -1の点 A から x軸に垂線を下ろした時の交点を I、茶芽 S₁ の整枝樹冠面上の着生位置を G とすると、△AIG において AI は h、IG は h'、および ∠IAG は α + θ であるから

$$h' = \frac{h}{\cos(\alpha + \theta)} = h \sec(\alpha + \theta)$$

になり、よって損失長さ e_L は

$$e_L = h' - h = h \{1 - \sec(\alpha + \theta)\}$$

となる。この損失長さ e_L は、摘採角度 θ、およびリード角 α が大きくなるのに伴って大きくなるため、茶芽が摘採作用を受ける有効摘採長さ e_P が短くなる。ただし、茶芽の有効摘採長さ e_P は、芽長（整枝樹冠面から芽頂までの長さ）を e とすると以下の式で表される。

$$e_P = e - h - e_L$$

これより、有効摘採長さ e_P を確保するためには、茶芽の損失長さ e_L を小さくする必要がある。

(c) 誘導姿勢のシミュレーション

誘導姿勢をシミュレーションするには、こぎ摘みロールの誘導姿勢を直線の方程式で示す必要がある。このため以下のように、A点を区分の中心とした 3つの区間を設定して、それぞれについて姿勢の方程式を求める。

(i) 誘導開始点 A に接する前の茶芽の姿勢

図 I -1の点 A に接する以前の茶芽の姿勢は、作業速度 v₂ で x軸上を移動する直立した直線 S₀ であるため、芽長 e の茶芽の移動姿

勢は、

$$y = e \quad \dots (7)$$

の直線となる。ここで、 x 軸上を移動する茶芽の着生点と原点 0 との距離を ST 、その距離を移動するのに要した時間を t 、とすると、移動距離 ST は作業速度 v_2 に時間 t を掛けた

$$ST = v_2 \cdot t$$

ただし、 t ：原点 0 からの移動時間

で表す。この移動距離 ST を用いて(7)式の成り立つ条件を表すと、こぎ摘みロールの半径が $R (= D/2)$ であることから、以下に示す範囲となる。

$$0 \leq ST < l \cos \theta$$

ただし、誘導部長さ： $l = R \cot \theta$

(ii)点 A に接触を開始してから誘導を開始するまでの姿勢

この区間では、茶芽が A 点に接触してから、誘導を開始する姿勢、すなわち、前傾角 β に変化するまでの誘導姿勢を示す。この区間を移動距離 ST で表すと

$$l \cos \theta \leq ST \leq l \cos \theta + h \tan(\theta + \alpha)$$

である。この時の茶芽の姿勢は、点 $A (l \cos \theta, h)$ と茶芽の着生点 $(ST, 0)$ を結ぶ直線

$$y = \frac{h}{l \cos \theta - ST} (x - ST) \quad \dots (8)$$

で表される。ここで、茶芽の着生点と A 点までの距離は、芽長 e より小さくなければならないので、前述の条件の他に

$$ST < l \cos \theta + \sqrt{e^2 - h^2}$$

の条件も満たさなければならない。

(iii)誘導開始後の茶芽の姿勢

この時の移動距離STの条件は、

$$ST > l \cos \theta + h \tan(\theta + \alpha)$$

であり、その誘導姿勢は、こぎ摘みロールの処理速度 v_1 によって変化することから、以下に示すこぎ摘みロールの軸線の方程式が必要になる。

$$y = \tan \theta \cdot x + h - R \cos \theta \quad \dots (9)$$

誘導開始後の茶芽は、この軸線上を v_1' ($= v_1 / \cos \theta$) で移動するから、その移動距離の水平成分 $\overline{v_1}$ は、誘導開始時の着生点Gから誘導中の茶芽の着生点が移動した距離 $\overline{v_2}$ に速度比 s を掛けた

$$\overline{v_1} = s \cdot \overline{v_2} = s \{ ST - h \tan(\theta + \alpha) - l \cos \theta \}$$

となる。これより、軸線の方程式(9)と茶芽との交点Bにおける x 座標 x_B は

$$x_B = l \cos \theta + s \{ ST - h \tan(\theta + \alpha) - l \cos \theta \}$$

となり、 y 座標 y_B は上式を(9)式に代入した

$$y_B = \tan \theta [l \cos \theta + s \{ ST - h \tan(\theta + \alpha) - l \cos \theta \}] + h - R \cos \theta$$

である。この点Bと茶芽の着生点を結ぶ直線が、誘導中の茶芽の姿勢を表す方程式、すなわち、

$$y = - \frac{\tan \theta [l \cos \theta + s \{ ST - h \tan(\theta + \alpha) - l \cos \theta \}] + h - R \cos \theta}{(1-s)(ST - l \cos \theta) + s h \tan(\theta + \alpha)} (x - ST) \quad \dots (10)$$

である。

以上の(7),(8),(10)式を用いて、こぎ摘みロール機構における茶

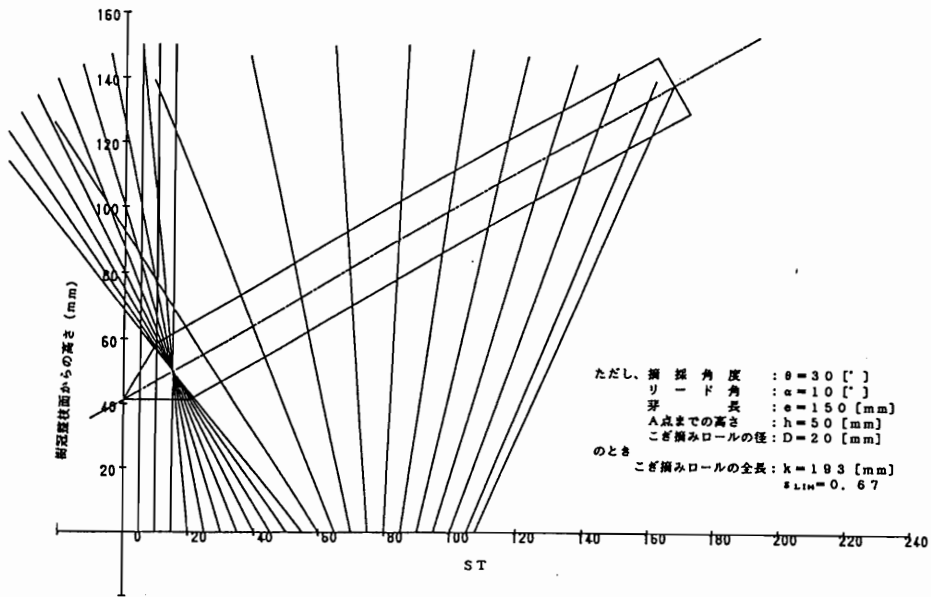


図 I - 2 速度比 $s > s_{LIM}$ ($s = 3$) の時の誘導姿勢

芽の誘導姿勢をシミュレーションすると、まず $s = s_{LIM}$ の時の茶芽は、前述したように、図 I - 1 に示す S_1, S_2 の前傾角 β を維持した姿勢で誘導される。また、 $s > s_{LIM}$ では、処理速度 v_1 が大きくなるため、図 I - 2 に示すように経時変化に伴って前傾姿勢から直立状態に変化し、さらに後方に傾く。逆に $s < s_{LIM}$ では、図 I - 3

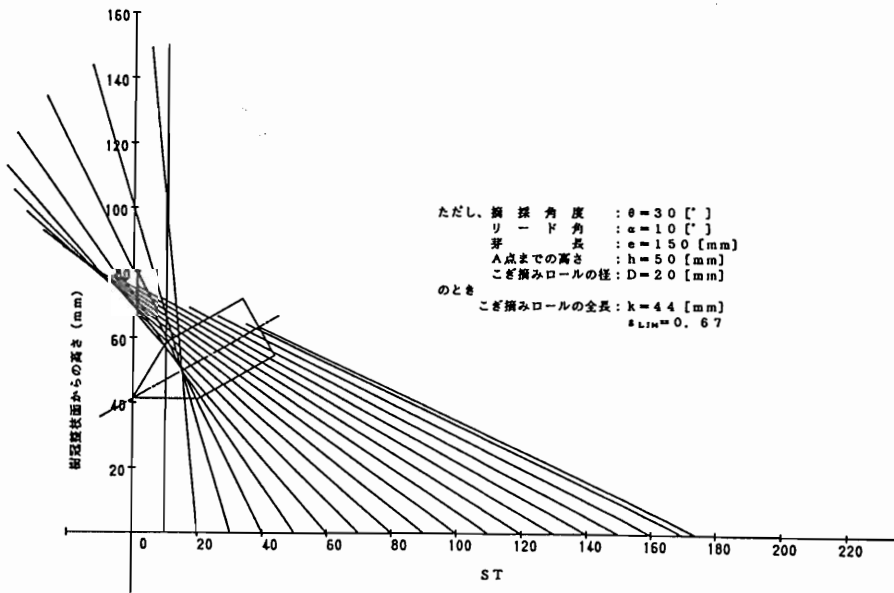


図 I - 3 速度比 $s < s_{LIM}$ ($s = 0.2$) の時の誘導姿勢

に示すように前傾姿勢がさらに強まり、経時変化に伴って前傾角が β より小さくなる。なお、図示した茶芽の誘導姿勢における設定条件は、摘採角度 θ が 30° 、リード角 α が 10° 、芽長 e が 150mm 、A 点までの高さ h が 50mm 、およびこぎ摘みロールの直径 D が 20mm の場合であり、後に示す図 I-4, 5 も同様の条件で設定した。

(d) こぎ摘みロールの全長の決定

前述の交点 $B(x_B, y_B)$ と茶芽の着生点との距離を考えた時、その距離と芽長 e が等しい時に、芽頂までこぎ摘み作用を作用させるために必要なこぎ摘みロールの全長 k を求めることができる。すなわち、

$$e = \sqrt{(x_B - ST)^2 + y_B^2}$$

を ST について解くために、上式を

$$\begin{aligned} & \{(s-1)^2 + s^2 \tan^2 \theta\} ST^2 \\ & + 2\{(s-1)\{(1-s)l \cos \theta - sh \tan(\theta + \alpha)\} - s \tan \theta [sR \cos \theta - h\{1 - s \tan(\theta + \alpha) \tan \theta\}]\} ST \\ & + \{(1-s)l \cos \theta - sh \tan(\theta + \alpha)\}^2 + [-sR \cos \theta + h\{1 - s \tan(\theta + \alpha) \tan \theta\}]^2 - e^2 = 0 \end{aligned}$$

に展開し、これに解の公式を用いて得られた 2 根のうちの 1 つの根 ST_1 は、

$$\begin{aligned} ST_1 = & -\{(s-1)\{(1-s)l \cos \theta - sh \tan(\theta + \alpha)\} - s \tan \theta [sR \cos \theta - h\{1 - s \tan(\theta + \alpha) \tan \theta\}]\} \\ & \div \{(s-1)^2 + s^2 \tan^2 \theta\} \\ & + \{ -[s \tan \theta \{(1-s)l \cos \theta - sh \tan(\theta + \alpha)\} - (s-1)[sR \cos \theta - h\{1 - s \tan(\theta + \alpha) \tan \theta\}]]^2 \\ & + e^2 \{(s-1)^2 + s^2 \tan^2 \theta\} \}^{1/2} \div \{(s-1)^2 + s^2 \tan^2 \theta\} \end{aligned}$$

となる。この ST_1 を

$$k = l \cos \theta + s \{ ST_1 - h \tan(\theta + \alpha) - l \cos \theta \} \sec \theta$$

に代入することによってこぎ摘みロールの全長 k を求めることがで

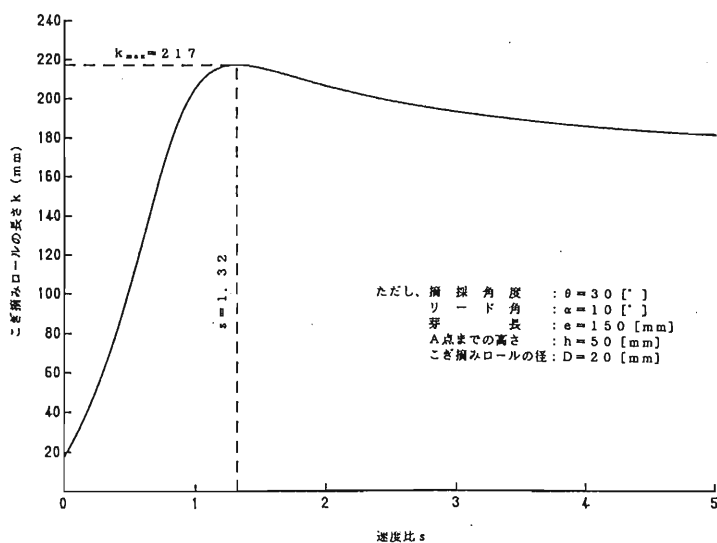


図 I - 4 速度比 s とこぎ摘みロール全長 k との関係

きる。

これを用いて、図 I - 4 に速度比 s とこぎ摘みロールの全長 k との関係を示す。こぎ摘みロールの全長 k は速度比 s の増加に伴って増加するものの、ある値（図示した計算例では $s = 1.32$ の時 $k_{max} = 217$ mm）を境に減少傾向に転じる。これは、こぎ摘みロールですごかれ

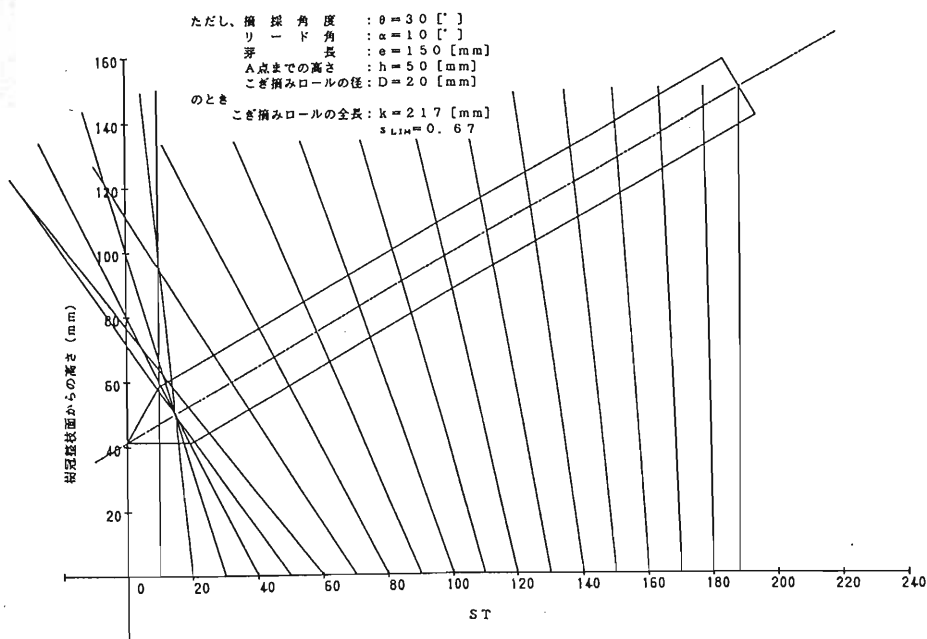


図 I - 5 こぎ摘みロールの全長が k_{max} の時の誘導姿勢

ている最後の姿勢、すなわち、芽頂にこぎ摘み穴が作用した時の茶芽の姿勢が、直立状態となった場合にこぎ摘みロールの全長 k が最も長くなるためである（図 I - 5）。

2. 現場用すごき試験器による実験

(1) 実験装置および実験方法

a. 現場用すごき試験器

現場用すごき試験器を図 I - 6 に示す。本試験器は、こぎ摘み作用を生じた際の抵抗力を測定する測定部、測定部を垂直上昇させる昇降部から構成される。

測定部は、こぎ摘み穴部を末端に有する測定腕①、バネ⑥、上・下支持板③、④、ネジ棒⑤、およびデジマチックインジケータ②から

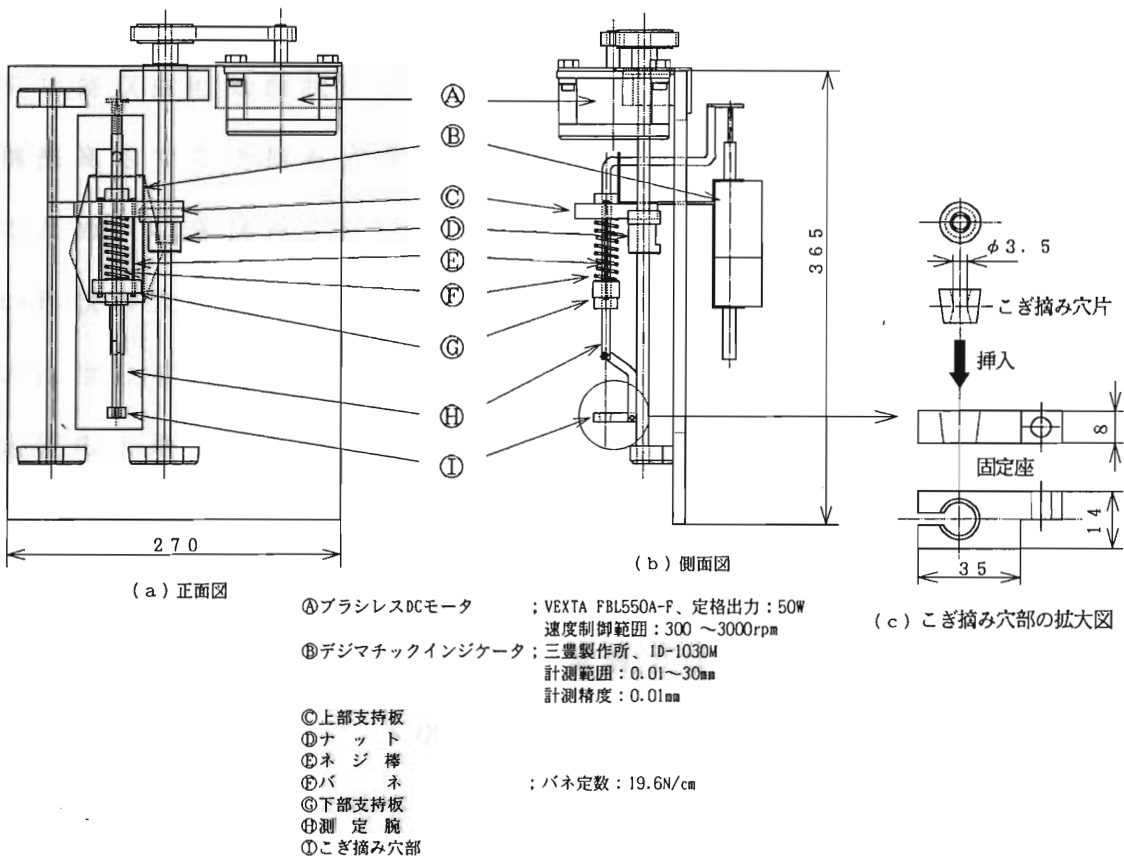


図 I - 6 現場用すごき試験器

ら構成される。上・下支持板③、④はネジ棒⑤で固定され、これにデジマチックインジケータ⑥を取付け、一体となって上下動する。また、測定腕⑩はバネ⑦の中央に設置してバネの上端と固定し、上下2点を精密なスライドベアリング（上下支持板に固定）で支持する構造とした。これにより、こぎ摘み穴部で茶芽をすごく際に生じるこぎ摘み抵抗力 F_p の大きさは、バネの圧縮に比例してデジマチックインジケータに垂直方向の変位量として出力される。

こぎ摘み穴部①は、こぎ摘みロールの材料と同じポリアセタール樹脂（POM）製のこぎ摘み穴片、およびそれを固定する鋼製の固定座から構成される。こぎ摘み穴片が形成するこぎ摘み穴の径は、第三章の切断位置の検出実験、および第四章の試作摘採機で用いるこぎ摘みロールと同一の $\phi 3.5\text{mm}$ とした。さらに、こぎ摘み穴片は、こぎ摘みロールのこぎ摘み穴と類似した形状にするため、その内面を単葉双曲回転面状に加工し、茶樹に生育した茶芽に対して任意の摘採高さでこぎ摘み穴が形成できるように縦割りに2分割した。このため、こぎ摘み穴片は、すごきの際の脱落を防ぐために倒立円すい形状の穴を加工した固定座に挿入され、こぎ摘みによる穴径の拡大は生じないようにした。なお、固定座は、任意の取付角度 δ で測定腕の下端にネジ止めできる。

昇降部では、ブラシレスDCモータ④の回転動力が、タイミングベルトを介して精密ボールネジ軸を回転し、その軸にナット⑨を装着した測定部の昇降を行う。なお、実験では、樹上の茶芽を供試するため、樹高に合わせて茶樹の頂部や裾部での摘採が可能なハイクリアランス型のベースを製作し、それに本試験器を取付けて用いた（図 I-7）。



図I-7 実験風景
(写真中央がベースに固定された現場用すき試験器)

b. 実験条件

茶芽の摘採方法によって①1心3葉摘みと②1葉摘みの2種類を設定した。

1心3葉摘みは、摘採高さを3葉の下の位置にして、一度に1心3葉の茶芽を摘採する方法である。一方、1葉摘みは1葉ごとに上の葉から順に摘採する方法であり、この摘採方法は、こぎ摘みロールの摘採方法、すなわち、摘採茶葉がこぎ摘み穴に滞留することなく下から1葉ごとに摘採する方法と類似する。

1心3葉の場合では、こぎ摘み穴部の取付角 δ を水平状態の 0° と水平から 40° 傾けた状態の2段階に設定した。 $\delta = 40^\circ$ は、後節で用いるこぎ摘みロール（こぎ摘みユニット装着時）におけるこぎ摘み穴の傾斜角度とほぼ同一の角度、すなわち、リード角 α の 10.8°

と摘採角度 θ ($= 30^\circ$) との和 40.8° とほぼ同一の値である。なお、測定部の上昇速度 v_u は $3.6, 8.3 \text{ cm/s}$ の 2 段階に設定した。

供試品種には「やまなみ」、「おくむさし」、および「おくみどり」の 3 品種を用い、その栽培状態を表 I-2 に示す。これらの品種の茶芽を上記の各条件の組み合わせごとに 10 本供試し、1 日に計 40 本を処理した。なお、① 1 心 3 葉摘採の実験は、1987 年 5 月 12 日～25 日の 1 番茶期に行った。

次に、② 1 葉摘採の場合では、前述のこぎ摘み穴部の取付角 δ を 0° 、上昇速度 v_u を 3.6 cm/s に設定し、供試品種には「うんかい」を用いた。その栽培状態を表 I-2 の下段に示す。② 1 葉摘採実験では、茶芽の物理性との関係を調べるため、茶葉の縦・横幅、葉厚、着葉角度、摘採高さの葉位の下の茎の節間中央部と葉基部分の短・長軸径、および節間の長さを計測した。これらのデータの計測には、時間を要するため、茶芽は 1 日に 20 本しか供試できなかった。

表 I-2 供試茶芽の栽培状態 (供試圃場: 宮崎県総合農業試験場茶業支場)

供試品種	実験日	平均芽長 (cm)	1 芽平均葉数 (枚)	平均芽重 (g)	植生密度 (本/cm ²)	出開度 (%)
やまなみ 圃場A	5/12	11.3	3.5	0.52	0.20	57
	5/16	15.3	4.8	1.25	0.12	73
	5/18	10.6	4.3	1.06	0.14	81
やまなみ 圃場B	5/18	13.1	4.2	1.11	0.10	28
	5/23	15.6	4.8	1.42	0.12	56
	5/25	15.6	5.3	1.70	0.10	66
おくみどり	5/12	14.8	4.8	0.61	0.24	84
	5/14	13.6	4.5	0.65	0.18	90
	5/18	10.5	4.4	0.99	0.15	93
おくむさし	5/12	10.1	4.0	0.43	0.08	37
	5/16	10.8	4.5	0.73	0.13	77
	5/18	6.7	4.4	0.69	0.13	92
うんかい	4/29	9.0	4.0	0.56	0.13	36
	5/3	7.2	4.0	0.54	0.14	50
	5/7	8.5	4.0	0.70	0.12	69
	5/9	8.9	5.0	0.92	0.12	79
	5/13	10.1	4.7	1.10	0.11	85

注) ・やまなみ、おくみどり、およびおくむさしは、1 心 3 葉摘採時の供試品種
 ・うんかいは、1 葉摘採時の供試品種

ここで、下位の葉を摘採する場合、上位葉の摘採後に残る茶芽の性状が下位葉の摘採に影響すると考えられる。これに対し、本実験では着葉角度等のように茎と関係するデータを計測することから、残った上部は切除せずに用いた。なお、㊦ 1葉摘採実験は1988年4月29日～5月13日の1番茶期に行い、㊥ 1心3葉摘採と㊦ 1葉摘採の両実験とも宮崎県総合農業試験場茶業支場内の育種および栽培圃場にて行った。

(2)実験結果および考察

実験結果は、こぎ摘み作用によって茎が引張られて破断した「破断」の場合と茶葉のみを摘採した「不破断」に区別した。この破断が生じた茶芽の本数割合を破断率と称し、以下にその結果を述べる。

a. 破断率

(a)1心3葉摘採の場合

破断率の結果を表1-3に示す。なお、実験条件Aは上昇速度 $v_u = 8.3 \text{ cm/s}$ でこぎ摘み穴の取付角 $\delta = 0^\circ$ の場合、Bは v_u がAと同じで $\delta = 40^\circ$ の場合、Cは $v_u = 3.6 \text{ cm/s}$ 、 $\delta = 0^\circ$ の場合、およびDは v_u がCと同じで $\delta = 40^\circ$ の場合である。

経日変化について見ると、出開度 λ が高くなる実験後期では、茶芽の硬化に伴って茶茎が破断しにくくなるため、破断率の低下が予測された。この傾向は、「やまなみ」B圃場と「おくむさし」に見られ、前者では約15%、後者では約10～15%低下した。これに対し、出開度 λ の変化の小さい「やまなみ」A圃場と「おくみどり」では、それぞれ約75%、および約75～80%でほぼ一定であった。

表 I - 3 破断率 (1心3葉摘採の場合、単位：%)

品 種	実験日	出開度 (%)	実験条件				平 均
			A	B	C	D	
やまなみ 圃場A	5/12	57	70.0	90.0	54.5	80.0	73.6
	5/16	73	80.0	69.2	63.6	81.8	73.7
	5/18	81	50.0	80.0	70.0	100.0	75.0
	平均		66.7	79.7	62.7	87.3	
やまなみ 圃場B	5/18	27	70.0	100.0	100.0	100.0	92.5
	5/23	56	70.0	100.0	70.0	100.0	85.0
	5/25	66	80.0	90.0	50.0	90.9	77.7
	平均		73.3	96.7	73.3	97.0	
おくみどり	5/12	84	81.8	90.0	61.5	81.8	78.8
	5/14	90	60.0	81.8	70.0	80.0	73.0
	5/18	93	60.0	80.0	80.0	100.0	80.0
	平均		67.3	83.9	70.5	87.3	
おくむさし	5/12	37	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	5/16	77	81.8	80.0	81.8	100.0	85.9
	5/18	92	70.0	90.0	100.0	100.0	90.0
	平均		83.9	90.0	93.9	100.0	

次に、こぎ摘み穴部の取付角 $\delta = 0^\circ$ の条件A,C と $\delta = 40^\circ$ の条件B,D とを比較すると、後者は前者より約 5~20% 高くなった。取付角 $\delta = 40^\circ$ の場合では、こぎ摘み穴の傾斜によって茶芽が屈曲されてしごかれるため、こぎ摘み穴と茶芽との摩擦力が大きくなり、茎の破断に要するこぎ摘み力が生じ易かったと考えられる。このことは、こぎ摘みロール機構における茶芽の誘導姿勢の変化に伴って、こぎ摘み作用の強さが変化することを示すものである。なお、測定部の上昇速度 v_v では変化が見られなかった。

(b)1葉摘採の場合

破断率の結果を表 I - 4に示す。経日変化について見ると、出開度 λ の増加に関係なく 1葉位では 0%、2葉では変動が大きく 0~40

表 I - 4 破断率 (1 葉摘採の場合、単位：%)

実験日	出開度 (%)	摘採葉位			
		1 葉	2 葉	3 葉	4 葉
4 / 29	36	0	10.0	25.0	36.8
5 / 3	50	0	35.0	15.0	35.0
5 / 7	69	0	40.0	15.0	35.0
5 / 9	79	0	20.0	30.0	35.0
5 / 13	85	0	0	20.0	50.0
平均		0	21.0	21.0	38.4

%、3,4 葉ではほぼ安定し、それぞれ 15~30, 35% 程度であった。これらを詳細に検討するため、表 I - 5 に各

葉ごとに破断を生じた茎位とその発生回数を示し、括弧内はその発生率を示す。なお、表中の網掛けで示した 3、4、および 5 の破断茎位は、こぎ摘み穴部を装着した茎位である。

表 I - 5 各摘採葉位における破断の発生回数

摘採葉位		2		3			4			
破断茎位		2	3	2	3	4	2	3	4	5
実験日	4 / 29	1 (50.0)	1 (50.0)	0 (0)	3 (60.0)	2 (40.0)	0 (0)	2 (28.6)	5 (71.4)	0 (0)
	5 / 3	1 (14.3)	6 (85.7)	2 (66.6)	0 (0)	1 (33.3)	0 (0)	1 (14.3)	6 (85.7)	0 (0)
	5 / 7	1 (12.5)	7 (87.5)	1 (33.3)	1 (33.3)	1 (33.3)	1 (12.5)	0 (0)	7 (87.5)	0 (0)
	5 / 9	0 (0)	4 (100)	1 (16.7)	4 (66.7)	1 (16.7)	0 (0)	2 (28.6)	5 (71.4)	0 (0)
	5 / 13	0 (0)	0 (0)	1 (50.0)	1 (50.0)	0 (0)	0 (0)	4 (80.0)	1 (20.0)	0 (0)

注) ・括弧内の数値は、各摘採葉位における発生率 (%)
 ・網掛けの茎位は、摘採葉位の下茎位

葉の小さい 1 葉では破断を生じなかったのに対し、2,3 葉が平均 21.0%、4 葉では 38.4% と高くなった。しかし、破断茎位は摘採葉位で異なり、2 葉では摘採高さの 3 茎で発生率が 50~100%、3,4 葉では摘採葉位より上の茎で 60~100% であった。これから、2 葉摘採時のこぎ摘み力が 3 茎を破断する力より大きくなって破断を生じたことがわかる。これに対し 3,4 葉では、選択的摘採、すなわち、硬い茎を残して葉のみを摘採する特徴が見られた。

1心3葉摘採と比較した場合、1葉摘採では破断率が低下し、同じ摘採葉位の3葉位で平均20%程度の破断率しか示さなかった。これらの結果は、供試品種の違いや実験期間の違い等により直接比較することはできないものの、明らかに破断はこぎ摘み穴に残留した摘採生葉によって生じることがわかる。なお、経日変化に伴う破断率の低下は見られなかった。

b. こぎ摘み抵抗力

(a) 校正方程式の作成

本試験器の使用にあたり、デジマチックインジケータに出力された変位量をこぎ摘み抵抗力 F_p の大きさに変換する校正方程式が必要になる。校正方程式は、上昇速度 v_u によって異なったため、それぞれの速度における式を以下に示す。なお、相関係数 r の後の**
* は 0.1% の有意水準を示す。

① 上昇速度 $v_{u1} = 3.6 \text{ cm/s}$ の場合

$$F_p = 0.230 + 5.232 x_1^{1/2} \quad (r = 0.982^{***})$$

ただし、 F_p : こぎ摘み抵抗力 [N]

x_1 : インジケータの読み [mm]

② 上昇速度 $v_{u2} = 8.3 \text{ cm/s}$ の場合

$$F_p = 0.514 + 4.909 x_2^{1/2} \quad (r = 0.989^{***})$$

ただし、 x_2 : インジケータの読み [mm]

(b) 1心3葉摘採の場合

実験の結果は、破断と不破断の摘採状態で区別した。表 I - 6 にそれぞれのこぎ摘み抵抗力 F_p の平均値、および標準偏差を示す。

表 I - 6 供こぎ摘み抵抗力 (1心3葉摘採の場合、単位: N)

品 種	摘採状態	実験日	実験条件							
			A		B		C		D	
			平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
やまなみ 圃場A	破 断	5/12	3.71	1.17	4.06	1.12	4.51	0.89	3.64	1.37
		5/16	6.56	2.61	3.74	1.45	3.81	1.64	3.06	1.96
		5/18	5.69	2.17	4.38	1.95	4.82	1.85	5.46	1.99
	不破断	5/12	2.22	0.49	3.50	-	3.08	0.82	3.17	0.65
		5/16	3.35	0.64	2.73	1.36	3.05	1.35	1.73	0.46
		5/18	4.90	1.61	3.79	0.02	5.96	1.61	-	-
やまなみ 圃場B	破 断	5/18	6.07	2.28	5.34	1.78	6.69	2.48	4.95	0.97
		5/23	7.24	1.34	5.88	2.25	5.83	1.14	4.50	1.78
		5/25	5.70	2.22	6.85	2.74	5.35	3.06	5.60	2.46
	不破断	5/18	4.82	1.38	-	-	-	-	-	-
		5/23	6.03	0.97	-	-	5.20	0.86	-	-
		5/25	3.12	0.90	2.77	-	2.37	0.67	2.74	-
おくみどり	破 断	5/12	4.78	1.56	5.01	1.72	3.99	1.59	3.80	1.54
		5/14	3.34	1.59	4.96	2.09	5.17	2.12	5.35	2.33
		5/18	8.36	2.10	7.60	1.92	9.51	3.43	7.90	2.77
	不破断	5/12	6.16	0.45	4.99	-	4.86	0.65	2.29	0.17
		5/14	4.49	2.70	5.29	0.33	4.51	1.21	4.60	1.46
		5/18	7.58	1.92	4.98	1.28	7.39	1.22	-	-
おくむさし	破 断	5/12	4.98	2.04	4.42	1.50	4.56	2.12	3.86	1.01
		5/16	4.50	3.16	4.54	1.42	3.20	1.01	5.95	2.96
		5/18	6.24	2.33	8.90	1.24	8.19	1.80	5.48	1.64
	不破断	5/12	-	-	-	-	-	-	-	-
		5/16	3.99	-	2.80	0.58	2.79	0.05	-	-
		5/18	7.39	0.20	6.39	-	-	-	-	-

備) 実験条件は、表 I - 3 に同じ

経日変化について見ると、本実験では出開度 λ とほぼ一致した有心芽と出開芽の供試割合としたため、 λ が高くなるのに従って芽が硬化することから、こぎ摘み抵抗力 F_p の値が大きくなると考えられた。しかし、その傾向は見られず、こぎ摘み穴による選択的摘採によって木質化した茎は破断されずに、柔らかい上位茎が破断されたと考えられる。一方、不破断の場合は、硬化の遅い茶葉のみを摘採しているため、経日変化によるこぎ摘み抵抗力 F_p の増加傾向は見られなかった。

こぎ摘み抵抗力 F_p の大きさは、「やまなみ」の圃場Aの場合、破断と不破断がそれぞれ約3.0~6.5Nと約2.2~6.0N、以下同様に、同品種の圃場Bでは約4.5~7.2Nと約2.3~6.0N、「おくみどり」では約3.3~9.5Nと約2.3~7.6N、および「おくむさし」では約4.0~6.2Nと約2.8~7.4Nとなった。これから、破断は不破断より0.5~3.0N

程度大きく、破断が示す茶茎の引張切断と不破断が示す茶葉のみの摘採との違いが明らかとなった。なお、本実験におけるこぎ摘み抵抗力 F_p の大きさは、序章のこぎ摘み穴の形状に関する実験で述べたサラモミ加工の $\phi 4.5\text{mm}$ のこぎ摘み穴に1本の茶芽を挿入した時の値と近似した。

(c)1葉摘採の場合

本実験では、摘採状態を破断、不破断、および摘採生葉を生じない「不摘採」の3種類に区別し、目的変量をこぎ摘み抵抗力 F_p 、説明変量を茶芽の形状因子として多変量解析の重回帰分析^{23, 24)}を行った。

単相関係数の行列を表I-7に示す。なお、説明変量には茎の節間

表 I - 7 単相関係数の行列

状態	変量	葉面積	葉厚	着葉角度	茎の断面積		こぎ摘み抵抗力	状態	
					中央部	葉基部			
不摘採	葉面積		0.506 ^{***}	0.018	0.244 [*]	0.651 ^{***}	0.565 ^{***}	不破断	
	葉厚	0.443 ^{***}		0.129	0.396 ^{***}	0.509 ^{***}	0.446 ^{***}		
	着葉角度	0.110	0.246		0.320 ^{***}	0.192	0.039		
	茎の断面積	中央部	0.411 ^{**}	0.301 [*]	0.442 ^{**}		0.531 ^{***}		0.103
		葉基部	0.538 ^{***}	0.280 [*]	0.341 [*]	0.583 ^{***}			0.486 ^{***}
	こぎ摘み抵抗力	0.206	0.179	0.098	0.075	0.097			
破断	葉面積							破断	
	葉厚	0.444 ^{***}							
	着葉角度	-0.263 [*]	0.034						
	茎の断面積	中央部	0.267 [*]	0.547 ^{***}	0.125				
		葉基部	0.553 ^{***}	0.587 ^{***}	0.069	0.619 ^{***}			
	こぎ摘み抵抗力	0.580 ^{***}	0.667 ^{***}	-0.116	0.416 ^{***}	0.559 ^{***}			
破断部の茎断面積	-	-	-	-	-	-	0.598 ^{***}		

備) ***, **, * はそれぞれ0.1, 1, および5%の有意水準を示す。

長さを含めなかった。これは、こぎ摘み抵抗力 F_p に直接影響する因子ではないと考えられるためである。ここで、葉面積は既存の変換式²⁵⁾ に茶葉の縦・横幅を代入する方法、および茎の断面積は楕円の面積算出法でそれぞれ求めた。また、破断の場合には、破断した茎の断面積を変量に加え、こぎ摘み抵抗力 F_p との相関を見た。

こぎ摘み抵抗力 F_p について見ると、不摘採では茶芽の形状因子との相関係数が小さく、不破断では葉面積、葉厚、および葉基部断面積、破断では葉面積、葉厚、および茎の断面積（中央部、葉基部）に 0.1% の有意水準で相関が見られた。特に、不破断では葉面積との相関が最も高く、破断の場合には不破断の時に相関の低かった茎の中央部断面積の相関係数が高くなった。これらから、こぎ摘み抵抗力 F_p は、葉のみを摘採（不破断）した力、または、茎の引張による破断の力であることが明らかとなった。

次に、重回帰分析の結果を表 I - 8 に示す。なお、破断の場合の破断部の茎断面積は、実験結果から得られたデータのため、説明変量には含めなかった。

重相関係数、および寄与率は、下段の重回帰係数において信頼度に有意性を示した形状因子を説明変量とした結果であり、それらの値は不摘採 < 不破断 < 破断の順番で高かった。これらも単相関係数と類似し、不摘採では茶芽の形状に有意性を示さず、不破断では全ての変量、および破断では葉面積と葉厚に有意性が見られた。特に、葉の大きさ（葉面積、葉厚）は、こぎ摘み作用による摘採状態を決定する重要な要素であることがわかる。

最後に、各摘採状態ごとに分類した全変量と実験日との関係を表 I - 9 に示す。

表I-8 重回帰分析の結果

摘採の状態		不摘採				不破断				破断				
重相関係数		0.2065				0.6283				0.7349				
奇与率		4.27				39.48				54.01				
自由度調整済み奇与率		2.42				38.17				52.71				
残差標準誤差		0.51				1.67				1.96				
分散分析		自由度	平方和	平均平方和	F値	自由度	平方和	平均平方和	F値	自由度	平方和	平均平方和	F値	
	回帰	1	0.61	0.61	2.32	4	336.65	84.16	30.17	2	321.53	160.76	41.69	
	残差	52	13.74	0.26		185	516.03	2.79		71	273.80	3.86		
合計		53	14.35	0.27		189	852.68	4.51		73	595.33	8.16		
重回帰係数	変量	標準回帰係数		偏回帰係数	信頼度	標準回帰係数		偏回帰係数	信頼度	標準回帰係数		偏回帰係数	信頼度	
	葉面積	0.2067		9.49×10^{-4}		0.3262		2.28×10^{-3}	**	0.3529		0.0033	**	
	葉厚	-		-	-	0.2311		20.4539	**	0.5168		67.0840	**	
	茎の断面積	中央部	-		-	-	-0.2094		-0.8298	**	-		-	-
		葉基部	-		-	-	0.2687		0.5877	**	-		-	-
定数		1.4467				-3.1362				-13.5240				

備) ただし、**は1%の有意水準を示す。

表 I - 9 各変量における摘採状態別の平均値、および標準偏差

変 量	摘採状態	不 摘 採					不 破 断					破 断				
	実験日	4/29	5/3	5/7	5/9	5/13	4/29	5/3	5/7	5/9	5/13	4/29	5/3	5/7	5/9	5/13
葉 面 積 (mm ²)	平均値	250.5	337.4	315.3	311.7	324.8	537.5	680.7	826.7	784.7	977.9	584.2	802.6	858.0	880.2	1221.8
	標準偏差	64.2	154.8	104.9	112.3	-	172.0	256.7	209.7	244.1	373.8	166.7	189.9	258.1	291.7	242.3
葉 厚 (mm)	平均値	0.20	0.21	0.20	0.19	0.21	0.24	0.24	0.25	0.25	0.24	0.25	0.25	0.24	0.24	0.25
	標準偏差	0.02	0.03	0.02	0.01	-	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
着葉角度 (deg)	平均値	20.46	13.67	7.31	9.92	0	35.47	28.03	27.46	30.91	27.07	41.07	29.15	27.74	29.91	29.21
	標準偏差	9.73	8.00	10.56	14.5	-	12.01	8.87	9.04	9.00	15.53	13.60	7.19	6.17	6.12	8.85
中央部の断面積 (mm ²)	平均値	1.79	1.90	1.70	1.53	1.48	2.92	2.54	2.60	2.47	2.15	3.28	2.75	2.92	2.56	2.67
	標準偏差	0.32	0.45	0.21	0.03	-	0.61	0.53	0.47	0.37	0.38	0.68	0.49	0.75	0.49	0.36
葉基部の断面積 (mm ²)	平均値	2.15	2.22	2.00	2.24	2.42	3.75	3.20	3.27	4.24	4.30	4.35	3.44	3.60	4.40	5.24
	標準偏差	0.24	0.71	0.26	0.45	-	0.87	0.08	0.66	1.02	1.17	1.29	0.78	0.90	1.20	0.69
こぎ摘み抵抗力 (N)	平均値	1.49	2.08	1.68	1.99	0	2.59	3.00	3.69	4.63	4.89	5.91	5.57	5.51	5.92	8.89
	標準偏差	0.36	0.32	0.41	0.48	-	1.15	1.56	1.85	2.22	2.98	1.29	3.42	2.99	1.86	2.58

経日変化について見ると、葉面積は、不摘採で約 $250\sim 350\text{mm}^2$ と一定であったが、不破断、および破断では、それぞれ約 550mm^2 から 1000mm^2 、 600mm^2 から 1200mm^2 に増加した。葉厚は、不摘採が約 0.20mm 、不破断と破断が 0.24mm 前後で一定であった。着葉角度は不摘採が約 20° から約 10° に減少し、不破断と破断では約 30° で一定であった。茎の断面積は、中央部の場合、不摘採が約 1.7mm^2 、不破断と破断が $2.5\sim 3\text{mm}^2$ 程度と一定であった。葉基部では不摘採が 2.2mm^2 程度で一定なのに対し、不破断と破断ではそれぞれ 3.2mm^2 から 4.3mm^2 、 3.4mm^2 から 5.2mm^2 に増加した。さらに、こぎ摘み抵抗力 F_p でも不摘採が $1.5\sim 2.0\text{N}$ でほぼ一定なのに対し、不破断が 2.5N から 4.9N 、破断が約 6N から 8.9N に増加した。

以上から、不摘採と摘採（不破断と破断を含む）の各摘採状態に分類した茶芽の形状因子の値に大きな差が見られた。

3.まとめ

本章では、こぎ摘みロール機構を開発する上で重要な基礎的設計要素を明らかにするため、本機構の処理機能の限界、および直線モデルを用いてこぎ摘みロールに誘導される茶芽の姿勢をシミュレーションした2種類の理論解析を行った。

また、実際の茶樹に生育した状態の茶芽を供試対象とし、かつ、本機構の主作用のこぎ摘み作用のみを生じる現場用すこぎ試験器を開発した。本試験器は、こぎ摘みロールと類似した摘採状態を設定して、こぎ摘み抵抗力 F_p の測定を行う。これを用いて、こぎ摘み穴の取付角が $\delta = 0^\circ$ の場合と $\delta = 40^\circ$ の場合の摘採生葉の性状とこぎ摘み抵抗力 F_p の変化を調べた。さらに、茶芽の形状因子とこ

ぎ摘み抵抗力 F_p との関係について検討し、結果を重回帰分析で処理した。

① こぎ摘み穴の形成速度と茶芽の摘採速度との関係からこぎ摘みロール機構の摘採限界となる最大作業速度 v_{2MAX} を設定した。

② 茶芽の誘導姿勢に直線モデルを用いて、本機構における茶芽の誘導姿勢の変化のシミュレーションを行った。これから、任意の芽長の茶芽を芽頂まで摘採するのに必要なこぎ摘みロールの全長 k 等の設定を行った。

③ 現場用すごき試験器を用いた実験では、こぎ摘み穴部の取付角 δ を 40° に傾斜した場合、水平の場合よりも茎を破断する割合が 5～20% 程度増加し、強いこぎ摘み作用を示した。

④ こぎ摘み抵抗力と茶芽の形状因子との関係では、こぎ摘み抵抗力 F_p に対して茶葉の大きさ（葉面積、葉厚）が、重相関係数で約 0.6～0.7、寄与率で 40～55% で最も大きく関係した。

⑤ 本機構において茶葉の大きさの因子は、こぎ摘み作用発生の有無、および摘採生葉の性状に影響した。

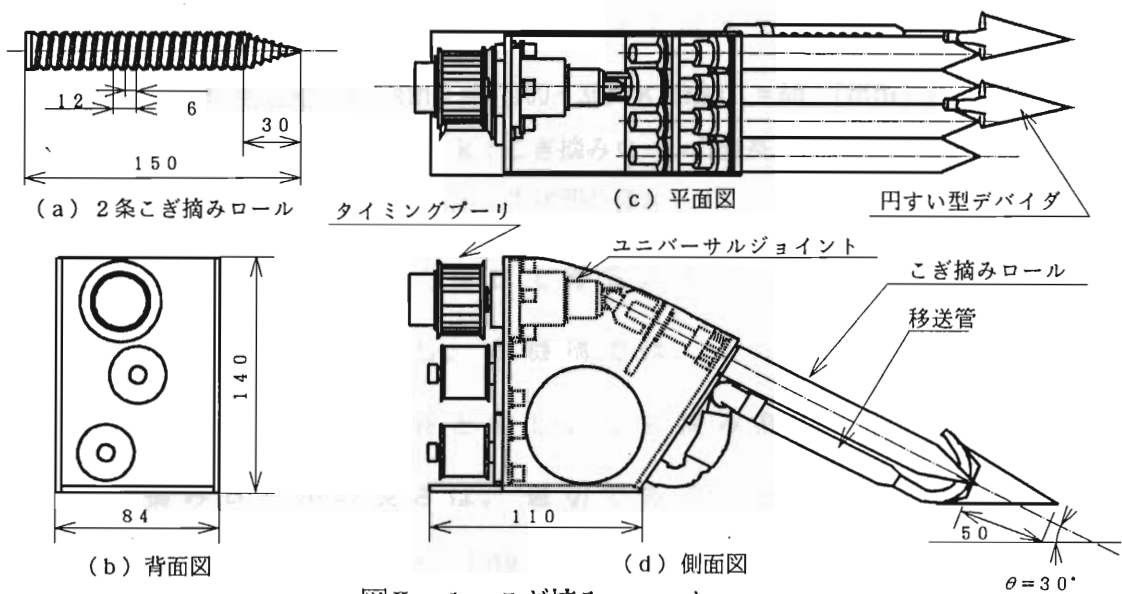
⑥ 摘採状態を不摘採、葉のみを摘採する不破断、および芽の状態を摘採する破断に分類した時、不摘採と摘採（不破断と破断を含む）とでは、茶芽の形状因子（葉面積、葉厚、着葉角度等）に大きな差が見られ、それぞれの摘採状態を生じる茶芽の形状に関するデータを得た。

第II章 こぎ摘みユニットによる室内摘採実験¹⁷⁾

こぎ摘みロール機構を用いた摘採機を試作するにあたり、実際の茶芽を用いて本機構の摘採機能を確認する必要がある。このため、茶芽をこぎ摘みロールへ誘導する機能から摘採生葉の捕集機能までを一体化したこぎ摘みユニットを試作して室内摘採実験を行い、本機構の摘採性能を詳細に検討する。

1. 実験装置

本実験では、序章の図3に示した実験装置を改造し、摘採部に図II-1に示す2対のこぎ摘みロールを並列に4本装着したこぎ摘みユニットを用いた。本ユニットは、茶芽の誘導と摘採、および摘採後の茶葉を移送する機能を一体化したものである。摘採部は、これを3ユニット並列に隣接してバネ鋼板（幅：140 mm、長さ：1500 mm、厚さ：3 mm）の中央に取付ける構造とした（図II-3(a)）。



図II-1 こぎ摘みユニット

こぎ摘みロールは、リード12mm、ピッチ6mmの2条こぎ摘みロールで、これにより形成されるこぎ摘み穴径は、前章の圃場用すごき試験器のこぎ摘み穴より0.5mm大きいφ4mmとした。2条こぎ摘みロールは1条こぎ摘みロールに比べ、2倍の処理能力を有するため、摘採機での作業能率を向上する目的で採用した。また、こぎ摘み穴の径は、茎への押付けを防止するため、序章のこぎ摘み穴の形状に関する実験で良好な摘採生葉を得たφ2.5mmに比べて大きくし、茶芽の2本挿入が可能な径がφ4.5mmであったことから2本以上の誘導を避ける大きさとした。

こぎ摘みロールの直径はφ20mm、全長kは150mm（先端部長さ30mmを含む）に設定した。本ユニットでは、摘採角度θを30°に固定したため、本ユニット底部の水平面とこぎ摘みロール先端とが接するようにこぎ摘みロールの全長kを設定した。このため、こぎ摘みユニット底部とこぎ摘みロール先端が同一平面内にあるので、こぎ摘みユニットを装着したバネ鋼板を茶樹の仕立てに合わせて変形した際に、こぎ摘みロールの先端も同一の形状に変化する。

また、こぎ摘みロールの長さによって決定される摘採高さ H_p は、

$$H_p = (k - \ell) \sin \theta = (150 - 30) \times \sin 30^\circ = 60 \text{ [mm]}$$

ただし、k：こぎ摘みロールの全長

ℓ：先端部の長さ

となり、これは、芽が良く伸びて芽重の重くなる品種（芽重型）の芽長に比べて短い。しかし、本機構では、途中で茶茎を破断する摘採が考えられるため、芽長と等しいこぎ摘み高さは必要なく、設定したこぎ摘みロールの長さは、適切であると思われる。なお、こぎ摘みロールには前述と同じPOMを、フレームやシャフト等にはアル

ミと鋼を使用し、1ユニットの重量は約2.3kgであった。

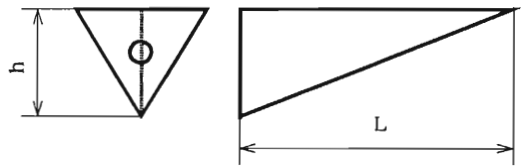
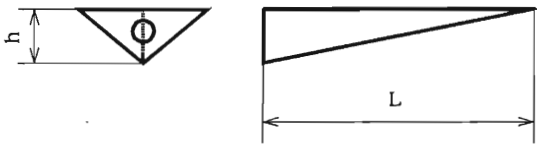
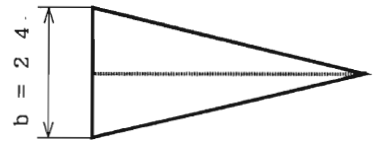
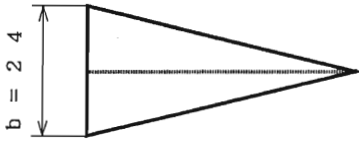
また、4本並列に装着したこぎ摘みロールの中央の2本では、こぎ摘み作用に対して逆方向の回転となり、この部分に供給された茶芽は、下方に向かってかみ込まれた場合、損傷を受けることになる。さらに、隣接するこぎ摘みロールで摘まれた摘採生葉にも同様の損傷を与えることになる。このため、この部分への茶芽誘導を避けるデバイダと摘採生葉を移送する移送管を設けた。

デバイダは、その前方にある茶芽を前に押し倒すことなく、側方のこぎ摘み穴へ容易に誘導する形状でなければならない。そこで、図Ⅱ-2に示す6種類の形状について誘導性能を検討した。その結果、角すい型デバイダ(a)~(d)では、供試材料が加工の荒い角の部分で接触するため、摩擦抵抗が大きくなり、供試材料が押し倒される現象が見られた。これに対し、船底型(e)、および円すい型(f)では曲面に沿った良好な誘導が確認され、長さによる誘導の違いも見られなかった。これから、こぎ摘みユニットには、加工の容易な長さ50mmの円すい型デバイダを採用した。

また、移送管は、電動送風機(日立製作所製、VB-037-D、最大風量:6.85m³/分、最大静圧:2580mm Aq)を用いて、こぎ摘みロールの下部と上部前方から噴射気流を送り、摘採生葉を浮揚させてユニット後方へ移送する処理を行う。

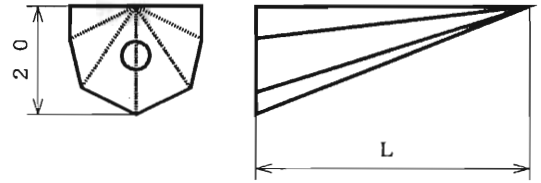
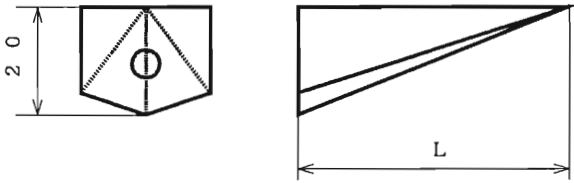
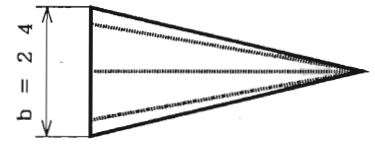
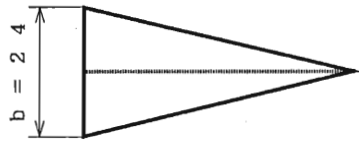
摘採部では、各ユニットの駆動軸に装着したタイミングプーリとタイミングベルト(歯付きベルト)によって複数ユニットを連動する。なお、こぎ摘みロールの回転速度は1200rpmまで設定できる。

一方、供給部では、茶芽を固定し、植生密度を変化できる台車を製作した。すなわち、台車上には厚さ4mmのゴム板を45枚並べ、そ



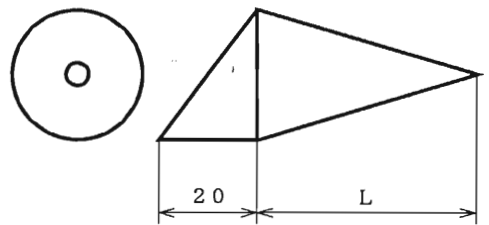
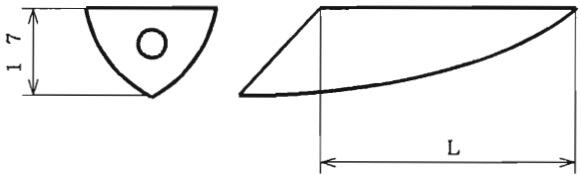
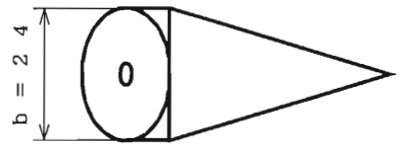
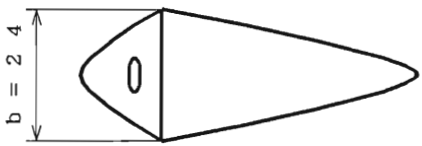
(a) 三角すい ($h = 10\text{mm}$)

(b) 三角すい ($h = 20\text{mm}$)



(c) 五角すい

(d) 七角すい



(e) 舟底型

(f) 円すい型

図II-2 デバイダの形状 (長さ: $L = 30, 50, 70\text{mm}$)

の間に直立状態の茶芽の下端を植込み、間に挟むゴム板の枚数を変えて植生密度 ρ を調整した。

本実験では、ベルトコンベアの長さとの関係で、所定の移動速度（作業速度 v_2 ）で動いているコンベアベルトに対し、瞬時に台車の速度を合わせる必要がある。このため、台車には落下式のフックを取付け、穴の開いたコンベアベルトにフックが掛かり、移動させるようにした。また茶芽を摘採する際に生じるこぎ摘み力により台車が持ち上がるのを防ぐため、コンベアフレームにガイドを取付けた。なお、台車の作業速度 v_2 は最高 0.27m/s に設定した。

2. 実験条件

本実験の実験条件を表 II-1 に示す。着葉方向の角度は、こぎ摘み高さの 4 葉の主脈とこぎ摘みロール軸線とのなす角度であり、両者がほぼ 90° の場合と 4 葉がこぎ摘みロール側にあってほぼ平行な 0° の場合に設定した。すなわち、着葉方向 0° の場合では、 90° の場合に比べて 4 葉が誘導の障害となるように植えた。

このような着葉状態の茶芽を前実験と同様に列状に等間隔で台車に 10 本固定し、その固定間隔によって決まる植生密度を 0.21 , 0.63 本/cm² の 2 段階に設定した。ここで、植生密度 $\rho = 0.21$ 本/cm² は、

表 II-1 実験条件

こぎ摘みロール	2条 (P=6mm, L=12mm, D=20mm, こぎ摘み穴径: $\phi 4\text{mm}$)
摘採角度 θ ($^\circ$)	30 (こぎ摘みユニット使用)
摘採高さ	4葉位
こぎ摘みロール回転数 (括弧内は、処理速度 v_1 (m/s)) (rpm)	1200 (0.21)
作業速度 v_2 (m/s) (括弧内は、速度比 s)	0.27 (0.78), 0.25 (0.84), 0.23 (0.91), 0.21 (1.00) 0.17 (1.24), 0.13 (1.62), 0.08 (2.56)
植生密度 ρ (本/cm ²) (括弧内は、列状の植生間隔 (mm))	0.21 (12), 0.63 (4)
着葉方向	0° , 90°
供試品種	やぶきた (1986年3番茶期)

実際の栽培における平均的な植生密度¹⁸⁾を参考に設定したもので、 $0.63\text{本}/\text{cm}^2$ は植生が密の場合を想定したものである。なお、供試した茶芽の品種は、3番茶期の「やぶきた」を用い、実験期間は1986年7月30日～8月9日であった。

摘採生葉は、序章のこぎ摘み穴の形状に関する実験と同様に正常葉（欠損長3 mm以下）、小切れ葉（同3～10mm）、大切れ葉（同10 mm以上）に分類した（序章図4）。これに、摘採後の台車上に残ったこぎ残し心葉（不摘採の心および茶葉）を加えて4段階の分類とし、各性状の葉数の全体の葉数に対する割合を摘採精度として求めた。さらに、各性状の割合ごとに3元配置法による分散分析^{26, 27)}を行ない、速度比 s 、植生密度 ρ 、および着葉方向の各要因間の交互作用を調べた。なお、各条件の組み合わせにおける繰返し回数は3回とした。

3. 実験結果および考察

図II-3に台車に列状に植生した茶芽の状況(a)と摘採後の台車上の茶芽の状態、およびこぎ摘みユニット後方に取付けた捕集ネット内の生葉の状態(b)を示す。摘採後の台車に残った茶芽は、明らかに茎を残した選択的摘採の状況を示した。

表II-2に分散分析の結果を示す。これから速度比 s に有意水準 1%の有意差を示したのは、正常葉、小切れ葉、こぎ残し心葉の各割合であり、切断率も同様であった。ここで切断率は、生葉の性状のうち、かみ込み作用による切断とこぎ摘み作用による正常な破断を含んだ茶芽（正常芽）本数の供試本数に対する割合である。

また植生密度 ρ では、正常葉、大切れ葉、こぎ残し心葉の各割合、



(a) 摘採前



(b) 摘採後

図 II - 3 茶芽の摘採状況

表 II - 2 分散分析の結果

		要 因	平方和	自由度	不偏分散	不偏分散比
摘 採	正 常 葉	作業速度 (A)	7.405×10^3	6	1.234×10^3	9.51**
		植生密度 (B)	2.393×10^3	1	2.393×10^3	1.84**
		着葉方向 (C)	4.527	1	4.527	0.03
		A×B	4.598×10^2	6	7.663×10	0.59
		A×C	2.967×10^2	6	4.945×10	0.38
		B×C	8.380×10	1	8.380×10	0.65
		A×B×C	1.167×10^3	6	1.945×10^2	1.50
		誤 差	7.266×10^3	56	1.297×10^2	
		計	1.907×10^4	83		
		精 度 (各 葉 の 割 合)	小 切 れ 葉	A	9.749×10^2	6
B	5.030×10^{-1}			1	5.030×10^{-1}	0.02
C	2.574×10			1	2.574×10	1.07
A×B	2.215×10^2			6	3.691×10	1.53
A×C	2.891×10^2			6	4.818×10	2.00
B×C	8.234			1	8.234	0.34
A×B×C	2.466×10^2			6	4.110×10	1.71
誤 差	1.349×10^3			56	2.408×10	
計	3.115×10^3			83		
大 切 れ 葉 の 割 合	大 切 れ 葉			A	2.112×10^2	6
		B	3.759×10^2	1	3.759×10^2	10.58**
		C	3.133×10	1	3.133×10	0.88
		A×B	1.097×10^2	6	1.828×10	0.51
		A×C	1.120×10^2	6	1.867×10	0.53
		B×C	2.729×10^{-2}	1	2.792×10^{-2}	7.6×10^{-4}
		A×B×C	4.219×10^2	6	7.031×10	1.98
		誤 差	1.989×10^3	56	3.553×10	
		計	3.252×10^3	83		
		こ ぎ 残 し 心 葉	こ ぎ 残 し 心 葉	A	3.387×10^3	6
B	8.222×10^2			1	8.222×10^2	17.20**
C	2.679			1	2.679	0.06
A×B	5.577×10^2			6	9.294×10	1.95
A×C	1.917×10^2			6	3.195×10	0.67
B×C	3.814×10			1	3.814×10	0.80
A×B×C	9.056×10			6	1.509×10	0.32
誤 差	2.676×10^3			56	4.779×10	
計	7.766×10^3			83		
切 断 率	切 断 率			A	2.774×10^4	6
		B	5.448×10^3	1	5.488×10^3	14.30**
		C	8.300×10	1	8.300×10	0.22
		A×B	3.472×10^3	6	5.787×10^2	1.52
		A×C	5.078×10^2	6	8.464×10	0.22
		B×C	1.816×10^2	1	1.816×10^2	0.48
		A×B×C	5.936×10^2	6	9.894×10	0.26
		誤 差	2.134×10^4	56	3.810×10^2	
		計	5.937×10^4	83		

注) **は 1% 有意水準、および *は 5% 有意水準を示す。

切 断 は

および切断率が有意水準 1% の有意差を示したが、着葉方向では示さなかった。

次に、図 II - 4 に速度比 s と摘採精度および切断率との関係を、図 II - 5 に植生密度と摘採精度および切断率との関係を示す。これより、正常葉の割合と切断率は、速度比 s が大きくなると増加したのに対し、小切れ葉とこぎ残し心葉の割合は減少した。切断率の増加には、正常なこぎ摘み作用による破断か、かみ込み作用による切断かが判別できなかったが、速度比 s の増加は、かみ込み作用が現れ易くなるものと推察される。また、処理速度 v_1 が作業速度 v_2 より大きくなる (s が大きくなる) のに伴って、その屈曲する速さも速くなり、これが s の増加に伴う茶芽切断本数の増大の要因の 1 つであると考えられる。

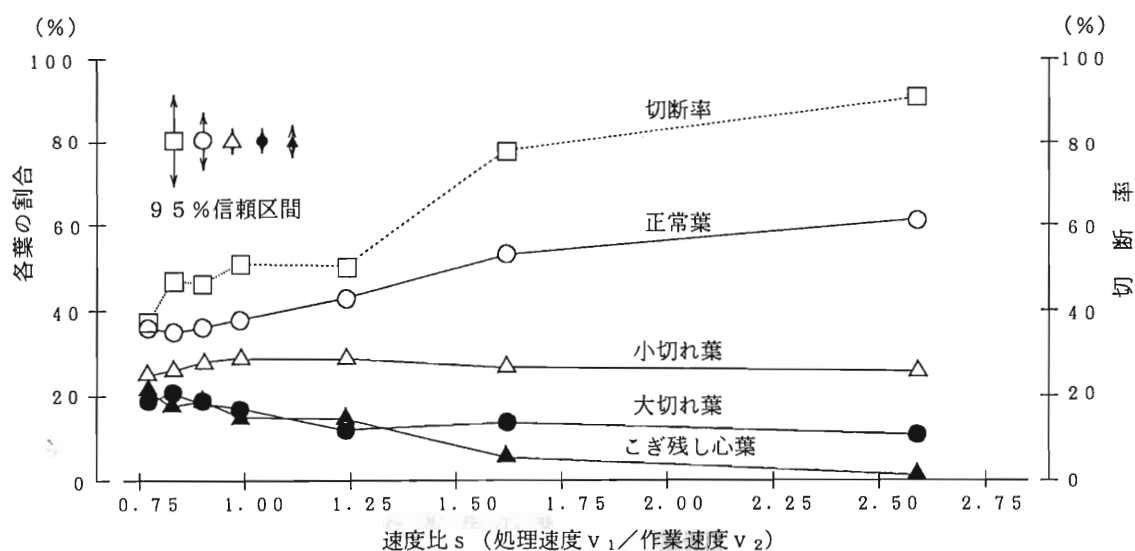
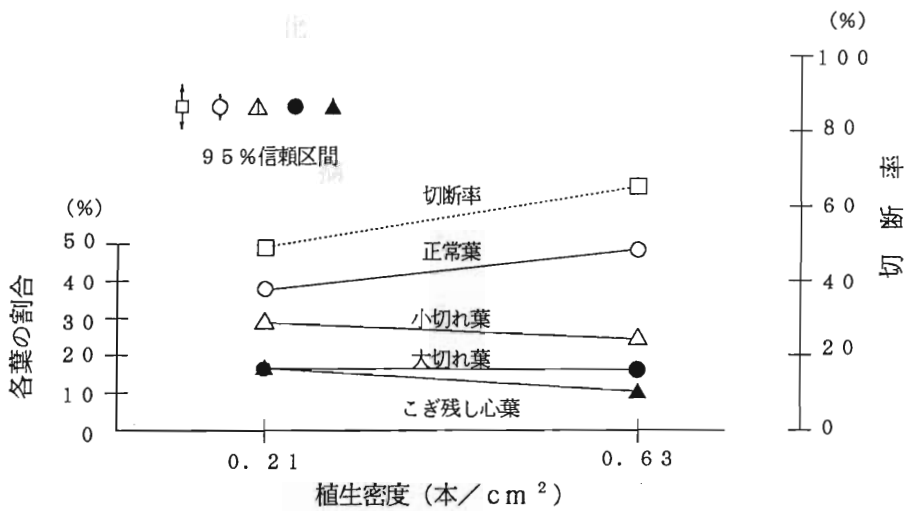


図 II - 4 速度比 s と各葉の割合および切断率との関係

ここで、こぎ摘みによる摘採生葉を品質面から考えた場合、正常葉の増加は品質を高める因子となることから、速度比 s を大きくした時のかみ込み作用は有効な作用であるように考えられる。しかし、かみ込み作用による切断は、木質化した茎をも摘採することになる



図II-5 植生密度と各葉の割合および切断率との関係

ので、良質な生葉を収穫する観点からは望ましくない。従って、このかみ込み作用を起こ

さない限界の速度比 s を設定する必要がある。なお、このかみ込みのメカニズムについては後章で詳細に述べる。

一方、前章で述べた理論上の限界作業速度 v_{2MAX} は、植生密度が $\rho = 0.63$ 本/cm² の時、(5) 式より 0.16m/s となる。しかし、今回の実験で設定した作業速度 v_2 の範囲には、0.17m/s 以上の場合が含まれ、図II-5に示す植生密度 $\rho = 0.63$ 本/cm² の場合には、正常葉の割合と切断率等が高くなり、実測の誘導率は97%以上の良好な誘導状況を示した。これより、先端部で滞留する茶芽には、こぎ摘み作用に加えてかみ込み作用が生じたものと考えられる。また、切断率を増加した原因としては、茶芽の滞留が起こる未形成のこぎ摘み穴部が、鋭角の凸形であるため、これが茶芽切断を行なったと思われる。なお、切断された茶芽の莖位はほぼ3莖で、設定した摘採高さより上で摘採されていた。

4. まとめ

本機構では、実際の茶芽を供試して摘採機能を確認する必要がある。このため、茶芽のこぎ摘みロールへの誘導から摘採生葉の捕集

機能までを一体化したこぎ摘みユニットを試作して室内摘採実験を行い、以下の結果を得た。

- ① 試作したこぎ摘みユニットでは、本機構の開発目的である茶芽の選択的摘採が確認できた。
- ② 速度比 s が大きくなるのに伴って茶芽の切断が増加し、正常葉の割合も増加した。
- ③ 茶芽の誘導の際に問題となる茶葉の位置、および着葉角度は、誘導時の障害とならなかった。
- ④ 本機構による茶芽の切断には、正常な破断による茶芽とかみ込み作用の切断による茶芽が含まれ、今後これらの判別が必要である。

第Ⅲ章 かみ込み作用の解明

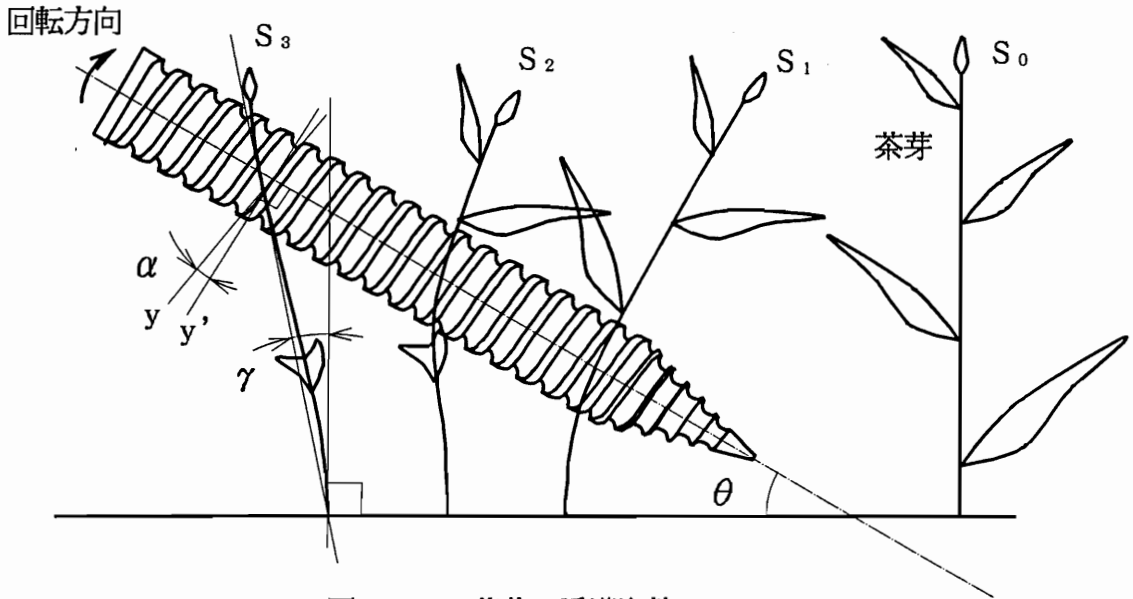
本章では、かみ込み作用による茶芽の切断に注目して、その発生メカニズムを理論的かつ実験的に解明する。これにより、かみ込み作用による茶芽の切断問題を解消した適正なこぎ摘みロール機構の設計要素を得る。

1. かみ込み作用の構成要素²⁸⁾

前章から、かみ込み作用による茶芽の切断は、処理速度 v_1 と作業速度 v_2 との関係が $v_1 > v_2$ の時に生じ、その速度差が大きくなるほど増加することがわかっている。つまり、こぎ摘みロールに誘導されている時の茶芽の姿勢が大きく関与する。

ここで、かみ込み作用が生じない条件には、茶芽がこぎ摘みロールの下面で接触せず、こぎ摘み作用のみで摘採される速度比 s_{LIM} (序章1.(2).b.(a)参照) の場合が考えられる。一方、速度比 s が s_{LIM} より大きい場合では、こぎ摘み穴に対して茶芽が屈曲されるため、小さいこぎ摘み穴径での摘採と類似した強いこぎ摘み作用(第Ⅰ章現場用すごき試験器による実験参照)を生じる。一定の直径のこぎ摘み穴を連続的に有する本機構では、芽頂に近づくほど茶茎の太さや茶葉の大きさが小さくなる茶芽に対応して、茶芽の上部に強いこぎ摘み作用を作用させて良質な茶葉を得る必要がある。これにより、本機構における速度比 $s > s_{LIM}$ の場合のこぎ摘み作用も重要な摘採機能の要因となる。

図Ⅲ-1は、こぎ摘みロールのこぎ摘み部で誘導を開始した茶芽の姿勢 S_1 が、かみ込み作用によって切断を生じた時の姿勢 S_3 に経



図Ⅲ-1 茶芽の誘導姿勢

時的に変化する様子を模式化したものである。直立姿勢 S_0 の茶芽は、序章、および第 I 章でも述べたように、誘導開始時に摘採角度 θ とリード角 α の設定によって S_1 のように前方に傾く。その後の茶芽は作業速度 v_2 より処理速度 v_1 が速いため、こぎ摘み作用を受けながら S_2 を経て S_3 の姿勢に変化する。この時、かみ込み作用による茶芽の切断は、以下の 4 要素から構成されると考えられる。すなわち、

- ① 摩擦要素：茶芽とこぎ摘みロールの接触点を通り、らせん溝面に平行な図中の y 線で切ったこぎ摘みロールと茶茎の断面において、かみ込む方向に回転するこぎ摘みロールとそれに接触する茶茎との接点で生じる力
- ② 切削要素： S_2 から S_3 へと誘導姿勢が変化する時、前述の接点が、下位から芽頂方向へ茶茎の表皮上を移動する際に生じる力
- ③ こぎ摘み力の分力：茶葉の摘採時に生じるこぎ摘み力が上述の接点に作用した時、茎をかみ込む方向に押し付ける分力
- ④ 復元力の分力：茶芽の誘導姿勢が変形した時、上述の接点を作

用点とした茶芽の復元力から生じるかみ込む方向に作用する分力等である。

かみ込み作用による茶芽切断を解消する上で切断発生の主要因となる要素の究明は重要である。そこで、本章では、①の摩擦要素に関してリード角 α と茶茎の誘導姿勢のそれぞれを考慮した理論解析を行う。さらに、茶茎とこぎ摘みロールの材料（ポリアセタール樹脂、以下 POM）との摩擦係数 μ を計測する実験を行ない、その結果を理論解析に用いて切断を生じないこぎ摘みロール機構の設計要素を明らかにする。

一方、③こぎ摘み力の分力の要素が茶芽の切断に影響する大きさを調べるため、以下に述べる 2種類の実験を行った。

まず、茶茎切断実験では、こぎ摘みロールの断面模型を用いて、こぎ摘み力の分力や茶茎の復元力の分力と類似した茶茎をかみ込む方向に押す力（以下、垂直力という）が、茶茎の切断に必要な要素であることを確認し、その力の大きさを計測する。さらに、茶芽がこぎ摘みロールの下面で接触するらせん溝縁形状に注目し、その形状と茶芽切断との関係についても検討する。

また、切断位置の検出実験では、こぎ摘みロールを使用して、こぎ摘み力の分力の要素の有無が、茶芽の切断に影響するか否かを調べる。なお、構成要素②の切削要素と④茶茎の復元力の分力は、茶芽の形状因子、茶芽の物理性等を考慮してそのメカニズムを説明する必要があるため、今後の研究課題とし、本章での説明に含めなかった。

2. 摩擦要素の理論解析^{2,8)}

(1)理論解析

本解析では、籾摺りロール^{2,9)} やヘイクラッシャ^{3,10)} 等に用いられる供試材料の「かみ込み」の理論を応用し、「かみ込み」の生じない条件を検討する。

a. リード角 α を考慮した場合

図Ⅲ-1のS₃において、こぎ摘みロールをらせん溝のリード角 α で切断した時(図中 y線)、こぎ摘みロールとその下面で接触する茶茎の断面をそれぞれ楕円と円に仮定したかみ込みの模式図を図Ⅲ-2に示す。

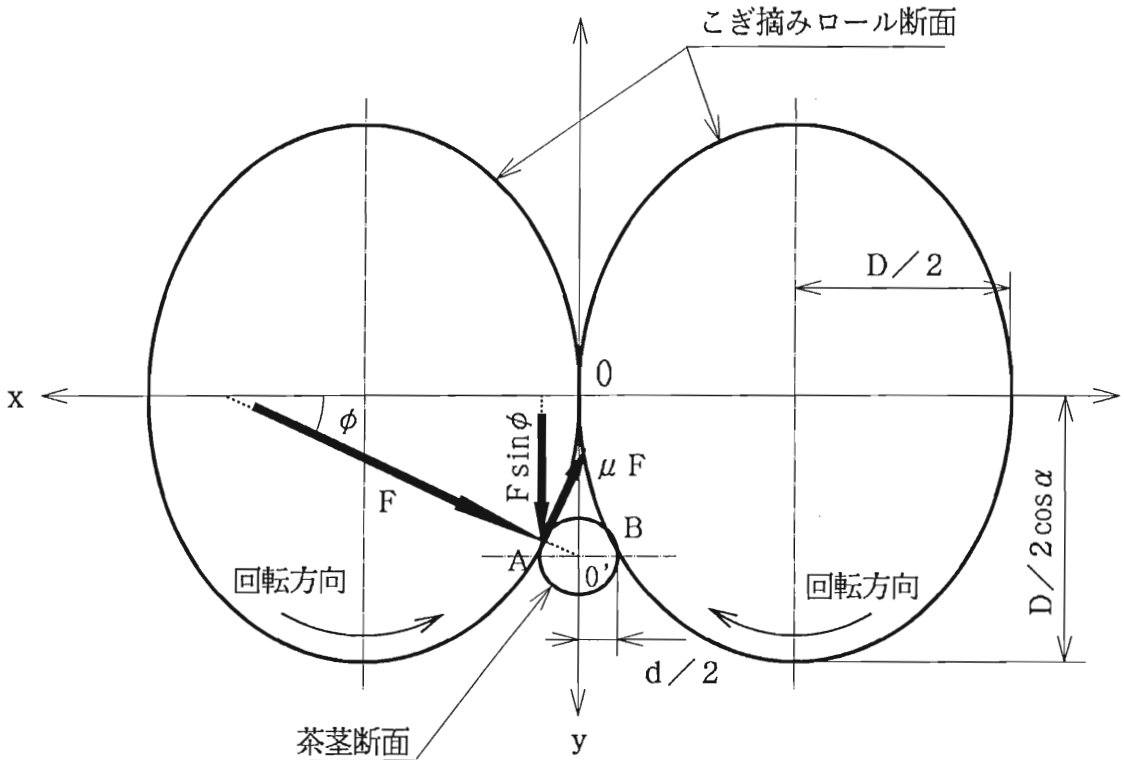
原点 0で接触する 1組のこぎ摘みロールに 2点A, B で接する茶茎の中心座標を0'とする。そして点 0、0'を通る y軸は、図Ⅲ-1の切断線 yと一致し、それに直交する x軸は、原点 0、および楕円の中心を通る。ここで、茶茎の直径を d、こぎ摘みロール切断面の短軸径の長さ(実径)を D、リード角 α による断面から長軸径の長さを $D/\cos \alpha$ 、接触角を ϕ 、こぎ摘みロールと茶茎の摩擦係数を μ 、および茎にかかる力を Fとする。

これから接線方向の力は μF 、かみ込み力は $\mu F \cos \phi$ 、抵抗力は $F \sin \phi$ となり、茶茎がこぎ摘みロールにかみ込まれないための条件は以下のようなになる。

$$\mu F \cos \phi \leq F \sin \phi$$

$$\mu \leq \frac{F \sin \phi}{F \cos \phi} = \tan \phi \quad \dots \textcircled{1}$$

ここで A点の x座標を x_A とすると



図III-2 かみ込みの模式図（リード角 α を考慮した場合）

$$\tan \phi = \frac{\sqrt{(d/2)^2 - x_A^2}}{x_A} \dots \textcircled{2}$$

となり、①式より

$$\mu \leq \tan \phi = \frac{\sqrt{(d/2)^2 - x_A^2}}{x_A} \dots \textcircled{3}$$

となる。これに実測の摩擦係数 μ と茶茎の直径 d を代入すれば x_A の範囲が得られ、これに x_A とこぎ摘みロールの直径 D との関係式を用いれば、かみ込みを生じないこぎ摘みロールの直径 D が求められる。

x_A とこぎ摘みロール直径 D との関係式は、線分 AO' と点 A における接線との直交条件から得られる x_A の4次方程式

$$16x_A^4 \sin^2 \alpha - 16Dx_A^3 \sin^2 \alpha + 4(D^2 - d^2)x_A^2 + 4Dd^2x_A - D^2d^2 = 0$$

をFerrariの公式³¹⁾を用いて求める。

まず、3次項を消去したときの式

$$\xi^4 + \frac{1}{8} \left\{ \frac{2(D^2 - d^2)}{\sin^2 \alpha} - 3D^2 \right\} \xi^2 + \frac{D}{8} \left(\frac{D^2 + d^2}{\sin^2 \alpha} - D^2 \right) \xi + \frac{D^2}{256} \left\{ \frac{4(D^2 - d^2)}{\sin^2 \alpha} - 3D^2 \right\} = 0 \dots \textcircled{4}$$

の各項の係数から次の3次分解方程式を得る。

$$t^3 - \frac{1}{8} \left\{ \frac{2(D^2 - d^2)}{\sin^2 \alpha} - 3D^2 \right\} t^2 - \frac{D^2}{64} \left\{ \frac{4(D^2 - d^2)}{\sin^2 \alpha} - 3D^2 \right\} t + \frac{D^4}{512} \left\{ D^2 - \frac{2(D^2 - 17d^2)}{\sin^2 \alpha} - \frac{32d^2}{\sin^4 \alpha} \right\} = 0 \dots \textcircled{5}$$

さらに、上式の2次項を消去した次式に展開する。

$$z^3 - \frac{(D^2 - d^2)^2}{48\sin^4 \alpha} z + \frac{1}{864\sin^6 \alpha} \{(D^2 - d^2)^3 + 54D^4 d^2 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha\} = 0 \dots \textcircled{6}$$

⑥式の判別式 Hは

$$H = \frac{D^4 d^2 \cos^2 \alpha}{27648\sin^{10} \alpha} \{(D^2 - d^2)^3 + 27D^4 d^2 \sin^2 \alpha\}$$

となる。ここで、こぎ摘みロールの直径 Dと茶茎の直径 dとの関係は一般に $D > d$ となるから、判別式は $H > 0$ となり、⑥式の実根は、

$$z_0 = \left[-\frac{1}{864\sin^6 \alpha} \{(D^2 - d^2)^3 + 54D^4 d^2 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha\} + \sqrt{\frac{D^4 d^2 \cos^2 \alpha}{27648\sin^{10} \alpha} \{(D^2 - d^2)^3 + 27D^4 d^2 \sin^2 \alpha\}} \right]^{\frac{1}{3}} + \left[-\frac{1}{864\sin^6 \alpha} \{(D^2 - d^2)^3 + 54D^4 d^2 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha\} - \sqrt{\frac{D^4 d^2 \cos^2 \alpha}{27648\sin^{10} \alpha} \{(D^2 - d^2)^3 + 27D^4 d^2 \sin^2 \alpha\}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

となり、これをさらに⑤式の根

$$t_0 = z_0 + \frac{1}{24} \left\{ \frac{2(D^2 - d^2)}{\sin^2 \alpha} - 3D^2 \right\}$$

に代入する。次に④式を変形した

$$\xi_0^2 + \sqrt{z_0 - \frac{1}{12} \left\{ \frac{2(D^2 - d^2)}{\sin^2 \alpha} - 3D^2 \right\}} \xi_0 - \frac{1}{2} \left[\frac{D \left(\frac{D^2 + d^2}{\sin^2 \alpha} - D^2 \right)}{8 \sqrt{z_0 - \frac{1}{12} \left\{ \frac{2(D^2 - d^2)}{\sin^2 \alpha} - 3D^2 \right\}}} - z_0 - \frac{1}{24} \left\{ \frac{2(D^2 - d^2)}{\sin^2 \alpha} - 3D^2 \right\} \right] = 0$$

を 2 次方程式の解の公式を用いて解き、得られた実根の 1 つ

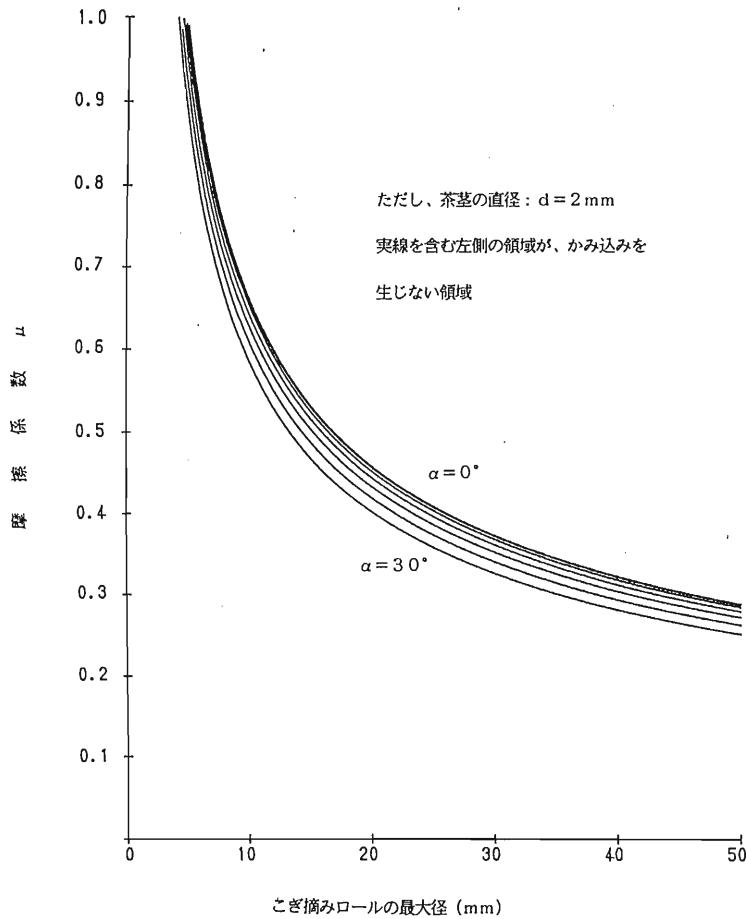
$$\xi_0 = \frac{1}{2} \left[- \sqrt{z_0 - \frac{1}{12} \left\{ \frac{2(D^2 - d^2)}{\sin^2 \alpha} - 3D^2 \right\}} + \sqrt{-z_0 - \frac{1}{6} \left\{ \frac{2(D^2 - d^2)}{\sin^2 \alpha} - 3D^2 \right\} + \frac{D \left(\frac{D^2 + d^2}{\sin^2 \alpha} - D^2 \right)}{4 \sqrt{z_0 + \frac{1}{24} \left\{ \frac{2(D^2 - d^2)}{\sin^2 \alpha} - 3D^2 \right\}}} \right]$$

に前述の z_0 を代入し、最後に

$$x_A = \frac{D}{4} + \frac{1}{2} \left[- \sqrt{z_0 - \frac{1}{12} \left\{ \frac{2(D^2 - d^2)}{\sin^2 \alpha} - 3D^2 \right\}} + \sqrt{-z_0 - \frac{1}{6} \left\{ \frac{2(D^2 - d^2)}{\sin^2 \alpha} - 3D^2 \right\} + \frac{D \left(\frac{D^2 + d^2}{\sin^2 \alpha} - D^2 \right)}{4 \sqrt{z_0 + \frac{1}{24} \left\{ \frac{2(D^2 - d^2)}{\sin^2 \alpha} - 3D^2 \right\}}} \right]$$

へ代入して x_A とこぎ摘みロール直径 D との関係式が得られる。

この展開式と前述の③式に摩擦係数 μ 、茶茎の直径 d 、およびリード角 α を代入してかみ込みを生じないこぎ摘みロールの最大径、摩擦係数 μ 、およびリード角 α との関係を図 III-3 に示す。ただし、仮定した値は、茶茎の直径 d がほぼ 3 茎位における平均的値の $d=2$ mm、リード角が $\alpha=0 \sim 30^\circ$ (5° 間隔) の場合である。



図Ⅲ-3 こぎ摘みロールの最大径と摩擦係数 μ との関係
 (リード角 α を考慮した場合)

この図で③式を満たすかみ込みを生じない条件は、実線を含む左側の領域になる。これより、リード角 α が小さく、こぎ摘みロールの径 D が大きいほどかみ込みは起こりにくいことがわかる。ここで、序章で述べた茶茎モデル実験で供試した1条こぎ摘みロールのリード角 $\alpha_1 = 6.4^\circ$ と2条こぎ摘みロールの $\alpha_2 = 12.8^\circ$ について見た場合、かみ込みの発生の難易に大きな差が認められなかったものの、 α_1 の方にかみ込みが起こりにくい傾向が見られた。この傾向は、茶茎モデル実験において、1条こぎ摘みロールではかみ込みが発生

しなかったのに対し、2条こぎ摘みロールではかみ込みの発生が多かったことと類似した。このため、リード角 α 、およびこぎ摘みロールの径 D は、かみ込み作用を除去したこぎ摘みロールを設計する上で重要な要素であると言える。

b. 茶茎の誘導姿勢を考慮した場合

図 III - 1 の誘導姿勢 S_0 の断面を y' 線のようにリード角が $\alpha = 0^\circ$ のロール軸線に対して垂直に切った場合、こぎ摘みロール断面は $\alpha = 0^\circ$ より円、茎断面は誘導姿勢の変化に伴って長軸の長さが増減する楕円と仮定したかみ込みの模式図を図 III - 4 に示す。

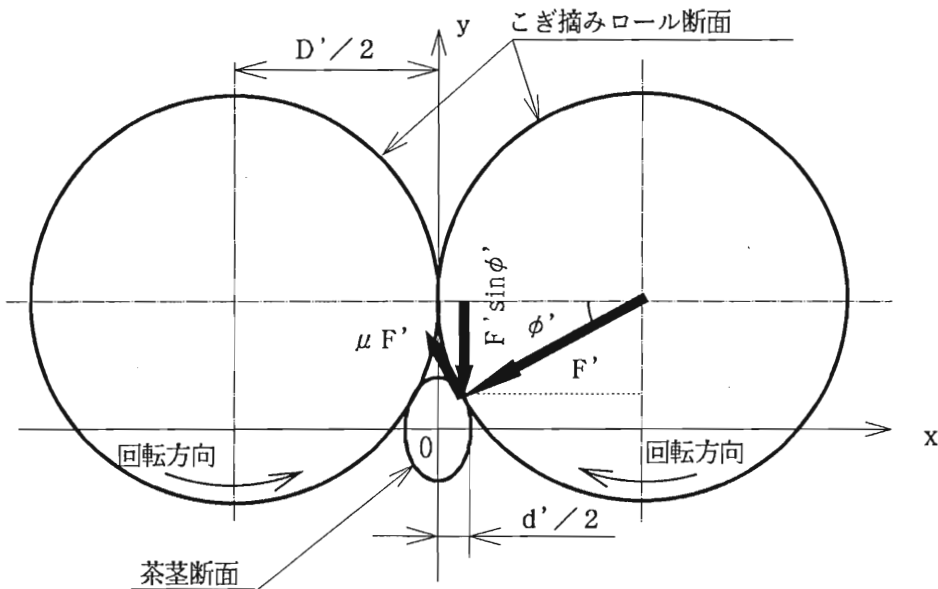


図 III - 4 かみ込みの模式図 (茶芽の誘導姿勢を考慮した場合)

茎がこぎ摘みロールにかみ込まれないための条件は、前述の①式の接触角を ϕ' とした不等式

$$\mu \leq \tan \phi'$$

で示される。

また、楕円の中心を原点 0 とし、その長軸が y 軸上に、また短軸が x 軸上にある座標系を考え、円と楕円の第 1 象限での接点を A' と

する。その接点の x座標を x_A' 、莖径（短軸径）を d' とすると、莖がたわみ角 γ に変形（図 III - 1 の S_3 の時）し、こぎ摘みロールが摘採角度 θ に傾斜しているから、莖の長軸径は $d' / 2 \sin(\gamma + \theta)$ となる。さらに、こぎ摘みロール断面の円の半径を D' としたとき $\tan \phi'$ は

$$\tan \phi' = \frac{\sqrt{(D'/2)^2 - (-x_A' + D'/2)^2}}{-x_A' + D'/2}$$

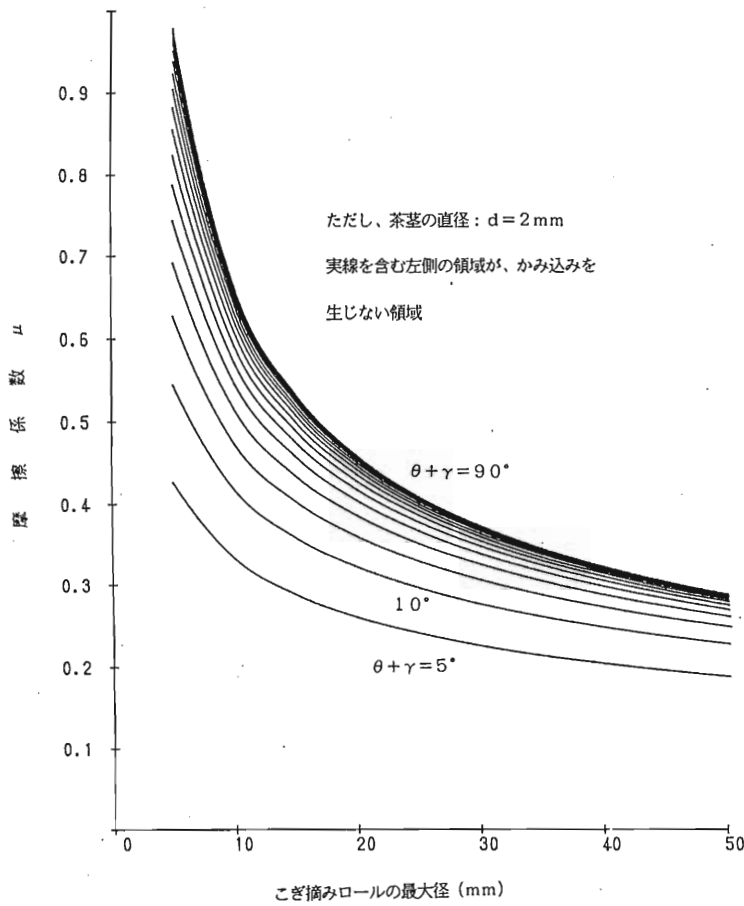
となる。この x_A' を求めるため、前述のリード角 α を考慮した場合と同様に楕円と円とが接する条件から次の 4 次方程式を得る。

$$x_A'^4 - D' x_A'^3 - \frac{(D'^2 - d'^2)}{4} \tan^2(\gamma + \theta) x_A'^2 - \frac{D' d'^2}{4} \tan^2(\gamma + \theta) x_A' + \frac{D'^2 d'^2}{16} \tan^2(\gamma + \theta) = 0$$

上式も同様に Ferrari の公式を用いて解を求め、数値計算を行ったところ、その解に原因不明の妥当でない座標値が得られた。このため、新たに DKA (Durand-Kerner-Aberth) 法^{32, 33)}を用いた反復計算（反復回数は 40 回）を行い、座標値 x_A' の値を求めた。そして前述の図 I - 3 と同様に $\theta + \gamma$ を変化した際のかみ込みを生じないこぎ摘みロール最大径と摩擦係数 μ との関係を図 III - 5 に示す。

かみ込みを生じない条件は、図 III - 3 と同様に実線を含む左側の領域である。これより、 $\theta + \gamma$ が 90° に近づいて茶莖の切断面形状が楕円から円に近くなり、こぎ摘みロールの径 D が大きくなるのに従ってかみ込みが生じにくいことになる。

この結果を第 I 章で述べた茶芽の誘導姿勢のシミュレーション（図 I - 2 の $s > s_{LIM}$ の場合）と合わせて考えると、摘採角度 θ が一定であることから、 $\theta + \gamma$ が 0° に近い場合、すなわち、たわみ



図III-5 こぎ摘みロールの最大径と摩擦係数 μ との関係
 (茶茎の誘導姿勢を考慮した場合)

角 γ が $-\theta$ になるほどかみ込みが生じ易く、そのたわみ角 γ を示す茶芽の誘導姿勢は誘導開始直後の姿勢となる。これより、こぎ摘みロールにおける茶芽のかみ込みは、こぎ摘みロールのこぎ摘み部の末端方向より先端方向の方が生じ易いと考えられる。なお、このことは、こぎ摘みロールを用いた摘採実験等で確認する必要がある。

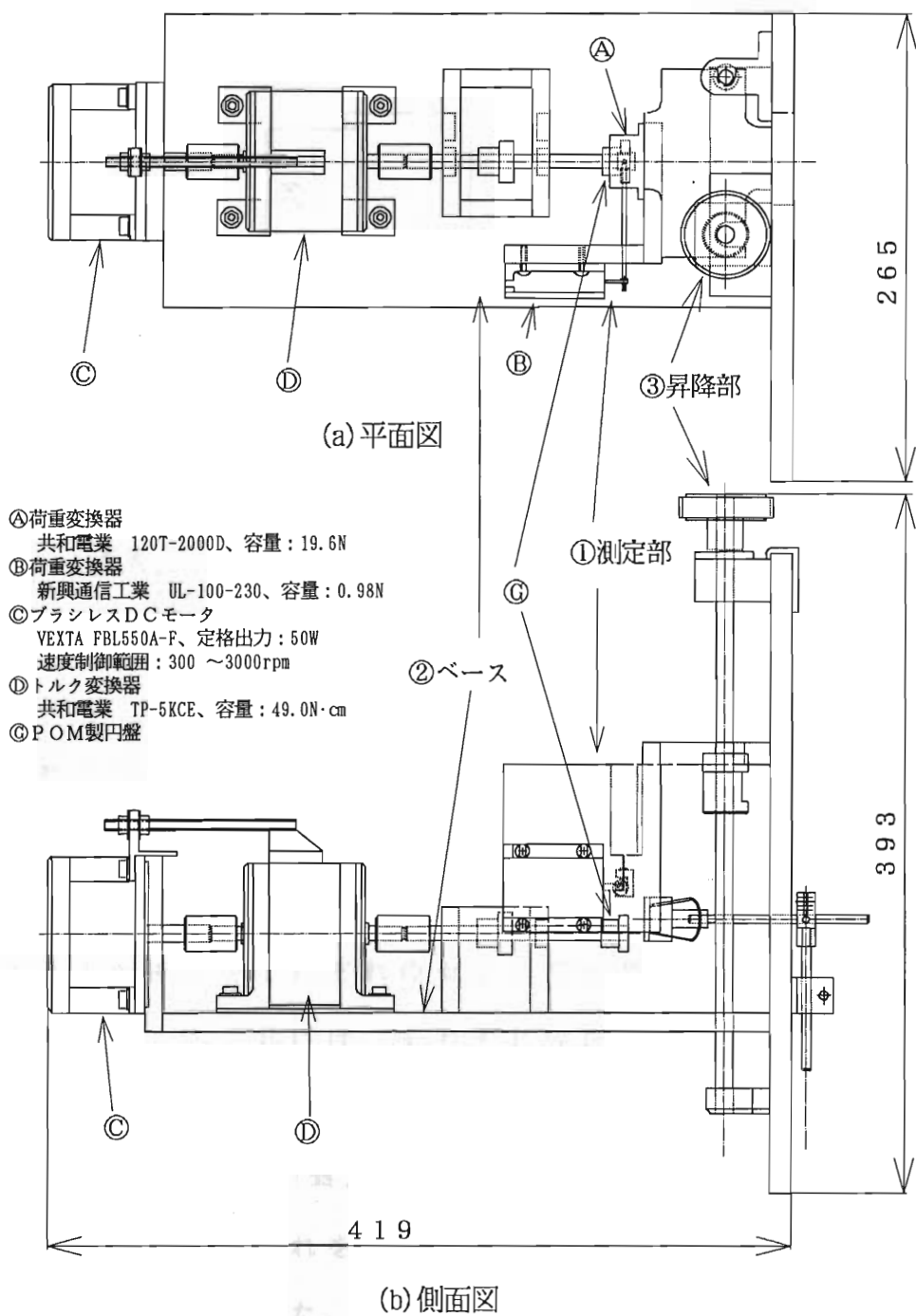
419

図III

(2) 摩擦係数の測定実験²⁸⁾

a. 実験装置

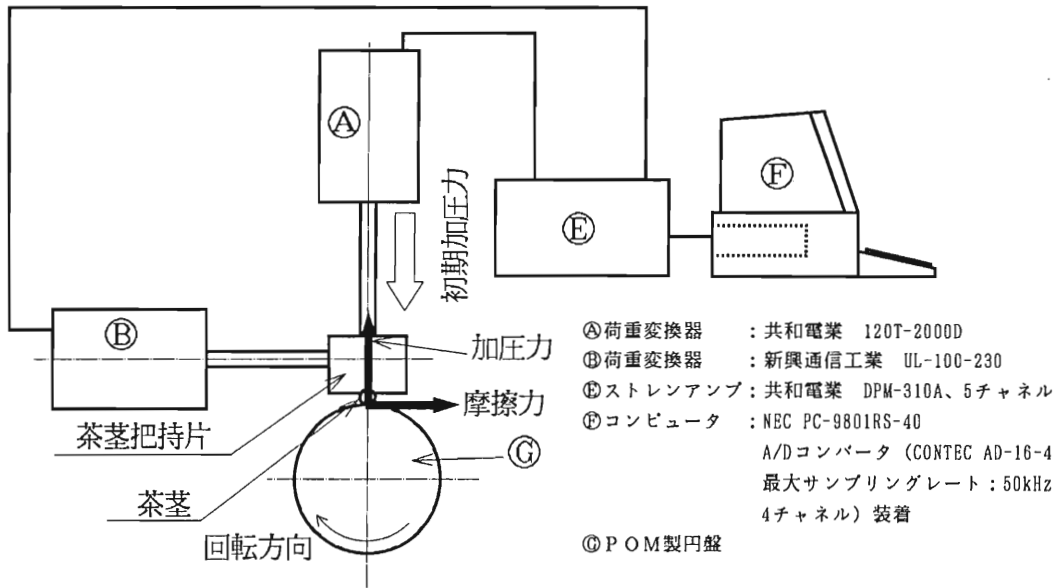
実験装置を図Ⅲ-6に示す。装置は、①センサを有する測定部、②こぎ摘みロールと同じ材質（POM）の円盤③を駆動するモータを取



図Ⅲ-6 実験装置

付けたベース、③測定部の昇降運動を行う昇降部、およびコンピュータを用いた記録部からなる。

図Ⅲ-7に示す測定部は、ピン-回転円盤法^{3,4)}を用いた測定装置で、半円形の溝($r=1.5\text{mm}$)を加工した茶茎把持片に垂直、および水平力を測定するセンサ④、⑤のロッドを結合した構造である。



図Ⅲ-7 測定部概略図

本実験では、この溝と円盤④($\phi 20\text{mm}$, 厚さ: 5mm)との間に円盤の軸線と平行に茶茎を置き、所定の初期加圧力で挟み、円盤を回転させる。そして、垂直方向に茶茎を支持するための加圧力と水平方向に生じる摩擦力をそれぞれのセンサで計測する。垂直、および水平方向のセンサ④、⑤には、それぞれ容量が 19.6N 、および 0.98N の荷重変換器(仕様は図中に記載)を用いた。なお、茶茎把持片の溝中央には針(長さ: 1mm , 5本)を埋め込み、それに茎を刺して円盤回転時の茶茎のねじれを抑えた。また、円盤の駆動には、ブラシレスDCモータ⑥を用いた。

昇降部は、精密ボールネジから構成され、測定部は精密ボールネ

ジの回転運動によって昇降する。本実験では、手動によって初期加圧力の調節を行った。

各センサのデータは、ストレンプ[®]、およびコンピュータ[®]装着のA/Dコンバータを介してフロッピーディスクに記録した。

b. 実験条件

本実験では、摘採後1時間以内の茶茎（1心3葉の茶芽で葉を取り除いたもの）を供試材料とし、1葉の下の2茎から3葉の下の4茎までを上から順番に供試した。茎は、円盤の回転に伴う茎のねじれを防ぐために長軸を水平にし、節間の中央の位置を茶茎把持片と円盤とで挟むようにした。そのときの初期加圧力は約0.25, 0.49, 0.74 Nの3段階に設定し、円盤は前章の茶葉摘採実験において設定したこぎ摘みロールの回転速度1200rpmで回転した。供試茶芽本数は、各初期加圧力ごとに15本の計45本を1日分とし、1991年1番茶期（4月26日～5月3日）の「ゆたかみどり」を用いた。なお、記録部におけるデータのサンプリングレートは100Hzに設定した。

c. 実験結果および考察

得られたデータは、2.56秒間の波形に含まれるノイズを周波数領域法（フィルタ関数には、帯域通過矩形フィルタを使用）³⁵⁾による演算処理によって除去し、解析に用いた。

(a) 加圧力および摩擦力の校正

測定部では、2つの荷重変換器のロッドが茶茎把持片で結合しているため、計測したデータをそれぞれ加圧力、摩擦力に校正する必

要がある。校正方法は、測定部の水平、および垂直方向にそれぞれ一定荷重（垂直方向には、0～200gの25g間隔、水平方向には、0～500gの20g間隔）を加え、そのときの荷重変換器の出力値との関係から校正した。これによって得られた有意水準0.1%の1次回帰式から以下の校正式を導いた。

摩擦力の校正では、各水平荷重における1次回帰式の傾き、および接片の平均値を用いた。

$$H_T = 0.044H_X - 0.028$$

ここで、 H_T ：摩擦力 [N]

H_X ：水平方向の荷重変換器の出力値 [N]

また加圧力の校正では、接片が摩擦力との比例関係を示したため、前述の摩擦力による1次回帰、傾きは各加圧力における傾きの平均を用いた。

$$V_T = 0.010V_X - 0.002H_T - 0.098$$

ここで、 V_T ：加圧力 [N]

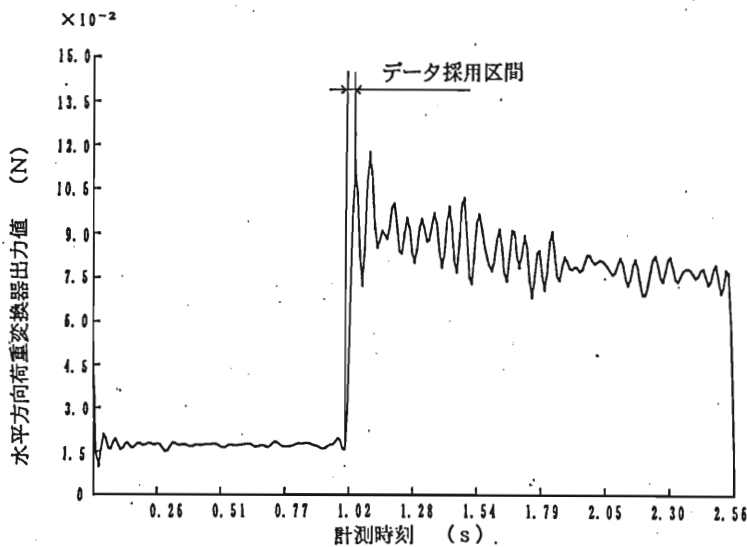
V_X ：垂直方向の荷重変換器の出力値 [N]

以上の校正式を用いて次式の摩擦係数 μ を求めた。

$$\mu = H_T / V_T$$

(b) 実験結果および考察

データは、図Ⅲ-8に示す円盤の回転開始から最初の波形のピーク（約0.02～0.1秒の間）までの各時刻の加圧力、および摩擦力から摩擦係数 μ を求め、解析にはその平均値を用いた。ここで、円盤の回転速度が安定するまでのモータの立ち上がり時間には約0.1秒必要なため、データに静摩擦係数が含まれる場合も考えられる。しか

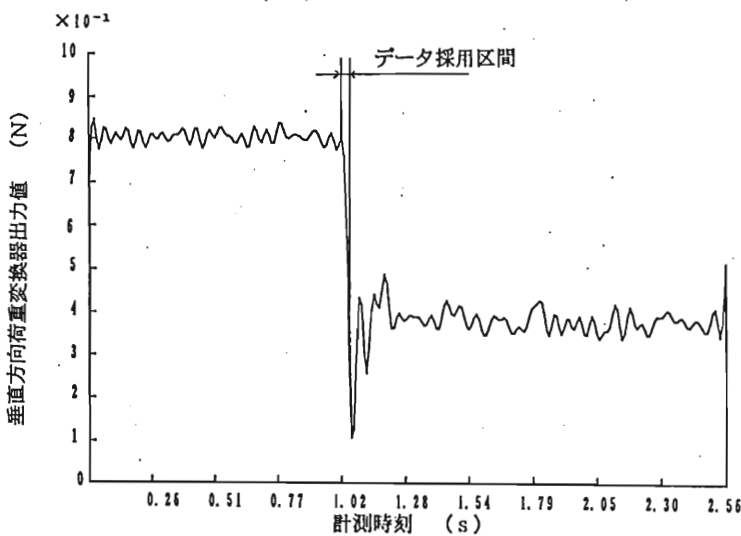


し、回転が安定した後には、表皮の破壊に伴う内部の水分（茶シブ）の浸出等が考えられる

ため、前述の方法が適していると判断した。

また、 $\mu \geq 1$ のデータ

は削除した。



図Ⅲ-8 計測時刻と加圧力、および摩擦力との関係

各茎位ごとの全初期荷重における1日の摩擦係数 μ の平均値と標準偏差を表Ⅲ-1に示す。これより、平均値 $\bar{\mu}$ は0.4~0.8の範囲にあり、特に、4月28日と5月3日では0.6前後に集中していることがわかる。

また4月28日と5月3日のデータでは、茎位が下位茎ほど摩擦係数 μ は増加する傾向を示した。これは、初期加圧力を与えた際の茶シブ浸出が上位茎ほど多く、 μ の低下を示したものと考えられる。

いま、茎の直径を $d = 2.3\text{mm}$ とし、 μ の平均の最大値($\bar{\mu}_{\text{MAX}} = 0.6802$)と最小値($\bar{\mu}_{\text{MIN}} = 0.5774$)を与え、茶芽の誘導姿勢を考慮

表Ⅲ-1 実験結果 (品種: ゆたかみどり)

実験日	茎位	摩擦係数 $\bar{\mu}$ (平均値)	標準偏差
4/22	2	0.4471	0.2470
	3	0.8038	0.0500
	4	0.6171	0.2644
4/28	2	0.5475	0.1756
	3	0.5766	0.1425
	4	0.6391	0.1100
5/1	2	0.7799	0.0486
	3	0.7374	0.1170
	4	0.7281	0.0931
5/3	2	0.5351	0.1373
	3	0.6030	0.1723
	4	0.6242	0.1800
平均	2	0.5774	0.1232
	3	0.6802	0.0939
	4	0.6521	0.0446

した場合のかみ込みを生じない①式の条件を満たすこぎ摘みロール最大径を表Ⅲ-2に示す。これより、平均的な3茎の直径 $d=2$ mmについて見ると、かみ込みを生じないこぎ摘みロールの直径は、ほぼ10mm以下の値を示す

ことがわかる。

一方、らせん溝の加工、こぎ摘み穴の強度、およびこぎ摘み時に生じるこぎ摘みロールのたわみ等を考慮すると、かみ込みを生じないこぎ摘みロールの直径の下限は $\phi 10$ mm程度と考えられる。

表Ⅲ-2 かみ込みを生じないこぎ摘みロールの最大径 (mm)

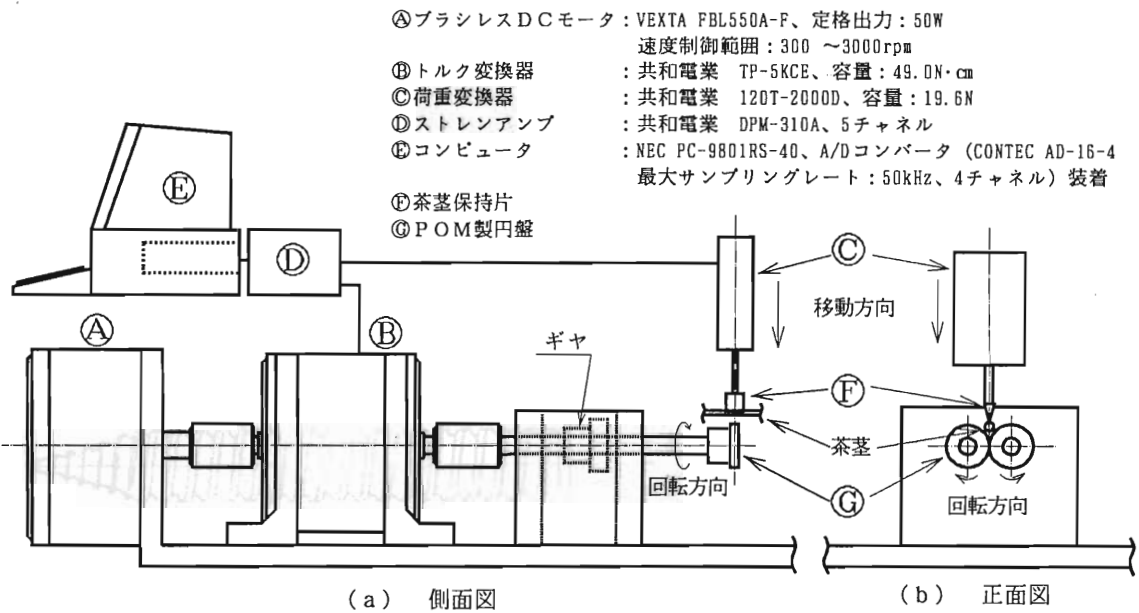
$\theta + \gamma$ (°)	$\bar{\mu}_{\text{MIN}}=0.5774$ の場合			$\bar{\mu}_{\text{MAX}}=0.6802$ の場合		
	茎の径 d (mm)					
	1	2	3	1	2	3
10	2.1	4.2	6.4	1.4	2.8	4.2
20	3.8	7.6	11.4	2.5	5.1	7.7
30	4.8	9.7	14.6	3.4	6.8	10.2
40	5.5	11.1	16.6	3.9	7.9	11.9
50	5.9	11.9	17.8	4.3	8.6	12.9
60	6.2	12.4	18.6	4.5	9.0	13.6
70	6.3	12.7	19.0	4.6	9.3	14.0
80	6.4	12.8	19.3	4.7	9.5	14.2

3. こぎ摘み力の要素に関する実験

(1) 実験装置

a. 茶茎切断実験

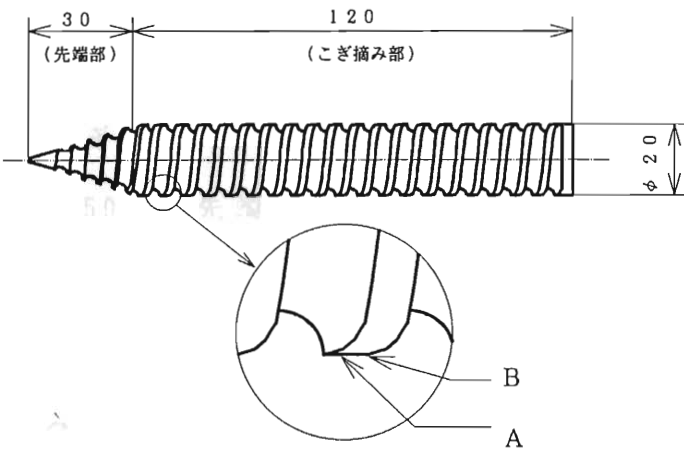
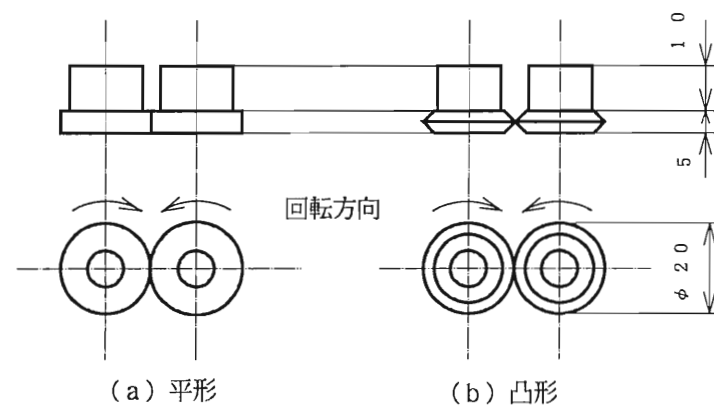
本実験では、摩擦係数の測定実験の測定部を図Ⅲ-9に示す概略図のように改造して用いた。なお、測定部の昇降はインダクションモータ（オリエンタルモータ, 3IK15RA, 定格出力: 15W, 速度制御範囲: 90~1400rpm）駆動とし、各種変換器、動力源、記録部等は、前述の仕様と同様である。



図Ⅲ-9 茶茎切断実験の測定部概略図

茎をかみ込む方向に押す垂直力の大きさは容量が19.6Nの荷重変換器⑥で計測し、そのロッドには、先端を1mmの厚さに加工したくさび形の茶茎保持片⑨を取付けた。また、こぎ摘みロールをリード角 $\alpha = 0^\circ$ で切断した断面模型を表す2個1対の円盤⑩は、各軸線を平行にして円盤側面を接触させ、ギヤによってかみ込む方向に回転する。茶茎は、円盤⑩の接触位置の垂直上方で両円盤からわずかに離して円盤軸線と平行に供試した。

実験は、回転中の円盤に対し、測定部の荷重変換器③が一定の速度で降下して茶茎を円盤側面に押付けて垂直力を生じ、強制的に切断を行う。その際、円盤にかかるトルクは、トルク変換器④を用いて計測した。なお、測定部が降下した際の茶茎保持片⑤と円盤③との間隔はシクネスゲージで予め調節し、測定部はその位置で停止するため、接触することはない。



(c) こぎ摘みロールの溝縁拡大図

図III-10 POM製円盤

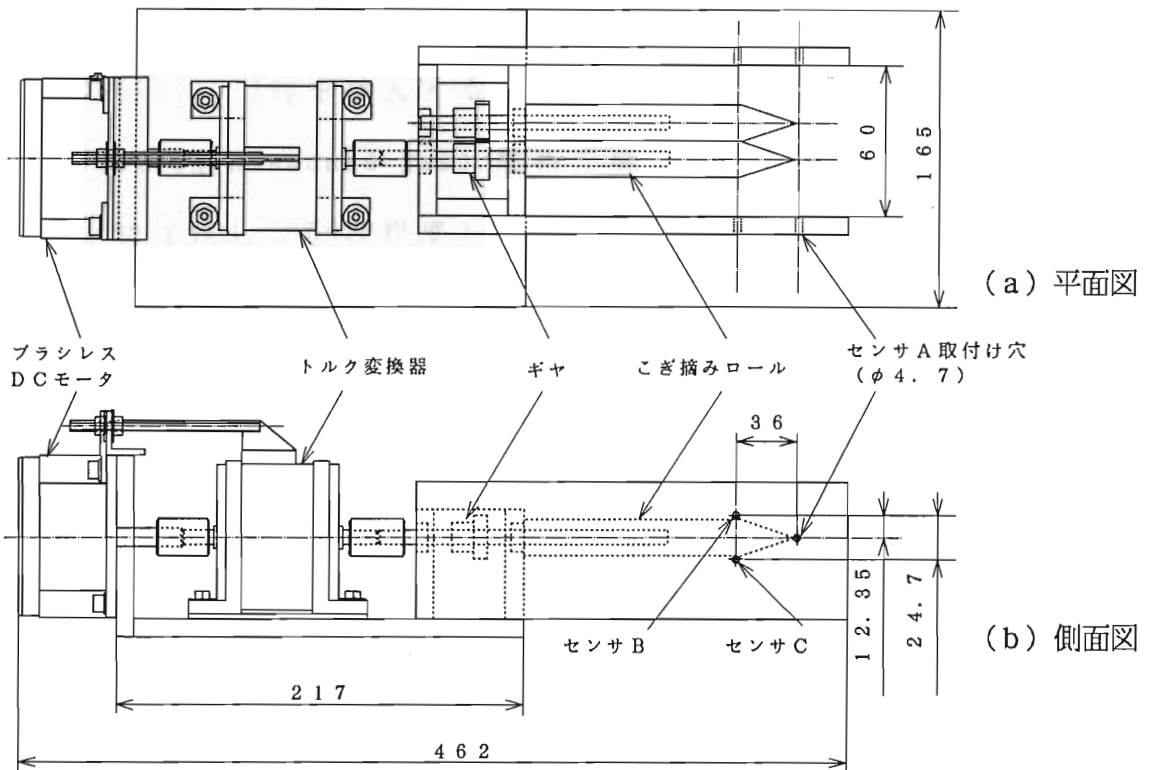
また、本実験では、こぎ摘みロールで茶茎がかみ込まれる位置のらせん山の形状に注目し、図III-10(c)のAに示すらせん山形状に類似した平形円盤(φ20mm、厚さ: 5mm、同図(a))とBに示すらせん溝縁の形状に類似した凸形円盤(φ20mm、同図(b))を供試した。ただし、円盤の材料はこぎ摘みロールと同じPOMである。なお、凸

形円盤では、らせん溝縁の角度90°に合わせて円盤周縁を加工した。

b. 切断位置検出実験

本実験では、序章で述べた茶茎モデル実験の実験装置(序章図4)

を用い、こぎ摘みロールにおける茶芽の切断位置を検出した（図Ⅲ-11）。



図Ⅲ-11 摘採部

こぎ摘みロールは、前章のこぎ摘みユニットで用いた $\phi 20\text{mm}$ 、長さ 150mm （先端部の長さ 30mm を含む）、ピッチ 6mm 、リード 12mm のらせん溝を加工した2条こぎ摘みロール（図Ⅲ-10(c)）である。こぎ摘み穴による茶芽の摘採では、こぎ摘み穴の径が小さいほどこぎ摘み穴縁が茶葉の葉基部方向に作用することになる。すなわち、径を小さくすることは、切れ葉が正常葉（無傷葉、序章図3参照）として摘採される割合が増加すると予測できる。このため、本実験では、こぎ摘み穴径を前章のこぎ摘みユニットを用いた摘採実験より 0.5mm 小さい $\phi 3.5\text{mm}$ とした。

こぎ摘みロールの両側面には、こぎ摘みロール先端（センサAの位置）とこぎ摘み穴の形成を開始する位置（センサB、Cの位置）に

取付け穴を加工したベークライト板が装着されている。この取付け穴には、茶茎がそれぞれの穴の位置を通過した際の信号を出力するために、高指向性の赤外線センサの発光素子（TLN108）と受光素子（TPS601A）3対を挿入する。それらの出力信号は、PESB（Physics Education Standard Bus）規格で製作した測定ユニット³⁶⁾（最高出力精度は1/1000秒程度）、ストレンアンプを介して、A/Dコンバータを備えたコンピュータのフロッピーディスクに記録される。なお、トルク変換器、ブラシレスDCモータの仕様は、前実験と同じである。

(2)実験条件

a. 茶茎切断実験

供試品種は、前実験と同じ1991年1番茶期（4月26日～5月3日）の「ゆたかみどり」である。供試材料の茶茎（1心3～4葉で摘採した茶芽の葉を除去したもの）は、かみ込みが生じ易い長軸径を垂直にした姿勢で上から順番に供試した。また、測定部の下降速度は0.01m/s、円盤の回転速度は1200, 700, 200rpmの3段階に設定し、回転速度と切断との関係を調べた。なお、1日の供試本数は、各回転速度と円盤の各形状の組合せごとに10本の計60本とした。

b. 切断位置の検出実験

供試品種は芽長が150mm以上の「うんかい」と「やぶきた」、実験期間は1990年7月31日～8月10日（3番茶期）である。本実験では、摘採高さを約70mm、台車から芽頂までの高さを約120mmに設定して用いた。なお、茶芽は、赤外線センサによる茶茎検出を容易にする

ため、摘採高さの 4葉から下の葉を取り除いた「茶芽」と全ての葉を取り除いた「茶茎」の 2種類を用いた。茶葉の有無は、第 I 章の現場用すごき試験器を用いた実験の結果より、こぎ摘み力の発生の有無を表すことから、こぎ摘み力の分力の要素が茶芽の切断に影響するか否かがわかる。

実験条件は、前章の室内摘採実験とほぼ同じ、こぎ摘みロールの回転速度を 1200rpm (処理速度 $v_1 = 0.21\text{m/s}$)、台車の移動速度 (= 作業速度 v_2) を $0.08 \sim 0.24\text{m/s}$ (5段階) に設定したため、その時の速度比 $s (= v_1 / v_2)$ は $2.63 \sim 0.88$ となる。また、摘採角度 θ は $30, 40, 50^\circ$ の 3段階に設定し、これらの条件の組合せごとに茶芽を 10本供試した。なお、茶茎切断実験、および本実験のデータのサンプリングレートは 100Hz に設定した。

(3) 実験結果および考察

両実験で得られたデータは、摩擦係数の測定実験の場合と同様の方法によりノイズを除去して解析に用いた。

a. 茶茎切断実験

(a) 切断率

結果は、「切断」と茶茎が切断されずに円盤に滞留した「不切断」に分類した。また、茶茎の繊維の一部が残り、かつ、円盤を通過した場合は、茎の大半を破壊していたことから「切断」に含めた。なお、「切断」は、円盤に茎が接触した後、0.5秒以内に切断トルクのピーク波形が生じたものである。

切断を生じた茶茎本数の供試茶茎本数に対する割合を切断率と称

し、その結果を表Ⅲ-3に示す。

表Ⅲ-3 茶茎切断実験の切断率(品種:かなやみどり、1991年)

円盤形状			平形			凸形		
実験日	出開度 (%)	茎位	円盤回転速度 (rpm)					
			200	700	1200	200	700	1200
4/22	45	2	100	100	50.0	100	100	100
		3	88.9	80.0	80.0	87.5	100	100
		4	100	66.7	40.0	100	77.8	88.9
27	85	2	100	20.0	0	100	100	100
		3	100	40.0	90.0	100	100	88.9
		4	100	50.0	11.1	100	90.0	90.0
30	80	2	100	100	100	100	100	100
		3	100	90.0	100	100	100	100
		4	100	33.3	30.0	100	44.4	44.4
5/2	86	2	100	75.0	0	100	100	100
		3	100	80.0	44.4	100	100	100
		4	60.0	10.0	22.2	70.0	60.0	33.3

円盤の直径D (=こぎ摘みロールの直径) ϕ 20mmは、前節の摩擦係数 μ の計測結果と摩擦要素の理論展開よりかみ込みを生じ易い大きさである。このため、茶茎が柔らかい出開度 λ の低い場合には茶茎の切断が多く、出開度の上昇に伴って下位茎から木質化するため、切断率が減少すると考えられ、これが4茎に見られた。

円盤形状について見た場合、平形の方は変動が大きく、切断率の平均値は凸形が91.0%であったのに対し、平形では68.4%となった。凸形では、円盤でかみ込まれる茎の長さが短いことから、局部的に摩擦力が作用して茎が切断され易くなるため、切断率が高い。なお、回転速度については、凸形で回転速度に関係なく一定の切断率が見られた。

(b)最大垂直力と最大トルク

切断と不切断に分類した際の茎径、最大トルク、および最大垂直力は、経日変化に対して傾向が見られなかったことから、全実験日のデータをまとめた平均値の結果を表Ⅲ-4に示す。

茎径(長軸径、短軸径)は、前述の理論展開においてかみ込みを

表Ⅲ-4 茶茎切断実験の解析結果 (品種: かなやみどり、1991年1番茶期)

状態	円盤形状	回転速度 (rpm)	茎位	長軸径 (mm)	短軸径 (mm)	最大垂直力 (N)	最大トルク (N·cm)
不 切 断	平 形	200	2	-	-	-	-
			3	-	-	-	-
			4	1.81	1.61	0.888	6.017
		700	2	1.24	1.02	0.148	2.916
			3	1.47	1.27	0.167	3.268
			4	1.87	1.62	0.829	4.777
	1200	2	1.29	1.15	0.109	2.528	
		3	1.61	1.44	0.197	3.122	
		4	1.91	1.67	1.831	4.864	
	凸 形	200	2	-	-	-	-
			3	-	-	-	-
			4	1.82	1.60	0.924	4.251
700		2	-	-	-	-	
		3	-	-	-	-	
		4	1.77	1.55	0.729	3.800	
1200	2	-	-	-	-		
	3	1.40	1.30	0.131	1.518		
	4	1.85	1.63	1.112	3.247		
切 断	平 形	200	2	1.24	1.06	0.073	4.718
			3	1.48	1.29	0.065	5.337
			4	1.82	1.55	0.345	6.943
		700	2	1.19	1.03	0.046	3.134
			3	1.45	1.28	0.058	3.057
			4	1.73	1.51	0.117	4.113
	1200	2	1.20	0.99	0.048	2.293	
		3	1.48	1.29	0.066	2.193	
		4	1.74	1.54	0.077	2.818	
	凸 形	200	2	1.18	1.04	0.048	1.647
			3	1.48	1.31	0.058	1.948
			4	1.86	1.61	0.404	2.915
700		2	1.17	1.03	0.297	2.075	
		3	1.46	1.27	0.120	1.727	
		4	1.85	1.59	0.277	2.205	
1200	2	1.20	1.07	0.060	1.117		
	3	1.48	1.30	0.143	1.154		
	4	1.86	1.63	0.379	1.823		

比べて茶茎の

切断を生じる

生じる条件を決定する重要な要素である。このため、本実験では細い茎が切断され易く、太いものが不切断になると考えられる。しかし、その現象は平形の1200rpmで示したのみで、その他では切断の有無に関係なくほぼ同じ茎径であった。

次に、最大垂直力と最大トルクについて見ると、不切断と切断とを比較した場合、不切断の方が最大垂直力で0.1~1.8N、最大トルクで0.2~2.0N・cm増加した。これを前述の茎径の比較結果と合わせて考察すると、本実験では、茎に垂直力を作用して強制的に切断を起こしているため、切断の発生には、茎の径等の外的因子よりも、こぎ摘みロールと茶茎との摩擦係数 μ の変動や茎の軟硬等の内的因子の影響が大きいと考えられる。

一方、円盤形状で比較した場合、最大垂直力では、平形の方が明らかに約0.1~0.8N大きく、さらに、上位茎から下位茎になるほど値が大きくなった。また、最大トルクも同様に、平形の方が1.0~3.2N・cm大きく、さらに、下位茎で、かつ、円盤の回転速度が遅くなるほど値が大きくなった。平形において最大垂直力と最大トルクが大きいのは、かみ込まれる茶茎の長さが長いためである。

以上の結果から、既知の切断例³⁷⁾を参考に、本機構において茶芽の切断過程を考えた場合、異なった2種類の過程が考えられる。

茶茎は、前述の理論解析の条件を満たしてかみ込まれた後、円盤による摩耗で表皮の剥離から髓部の破壊へと進む。同時に茶茎には、円盤に接触した2点で茎を挟む力が生じ、茶茎の皮下組織が柔らかい場合、茎は破壊される。この時、凸形では局部的に摩擦力が作用するため、平形に比べて茶茎を破壊し易い。この挟む力と摩擦力が瞬時に作用して切断を生じるのが1つ目の切断過程である。

一方、他の過程は、凸型の円盤に大きな垂直力で茶茎を押付けて茎を切断する場合である。この場合、摩擦要素に関する理論展開は関係せず、茎の内的因子が大きく影響する。なお、この過程では、切断刃のくさび角に相当するらせん溝縁の角度が 90° であることから大きな垂直力を必要とするため、切断が生じにくいと考えられる。

本機構における切断では、上述の2過程を合わせた場合も考えられるため、今後これらの切断過程の適合性を検討する必要がある。

a. 切断位置の検出実験

(a) 切断率

前述の茶茎切断実験と同様に、各品種ごとの切断率を表Ⅲ-5に示す。切断率の結果は、切断トルクのピーク値の発生時刻が、赤外線センサCを通過した時刻より前の場合と後の場合によって区分した。前の場合はこぎ摘みロール先端部の尖ったらせん山による切断を示し、後の場合はこぎ摘みロールの下部面での切断を示す。

本実験では、作業速度 v_2 の上昇（速度比 s が小さくなる）に伴う切断率の低下が供試材料の性状に関係なく示された。これは、前章の摘採実験と同様の傾向であるが、供試材料の性状によって切断率の値が異なり、茶芽の場合が茶茎の場合に比べ約15～75%高かった。このことは、こぎ摘み力が茶芽切断に大きく影響することを示し、特に速度比 $s \leq 1.75$ では、茎に比べて茶芽の切断率が2倍以上の値を示した。

また赤外線センサCからの位置では、前の場合が最高で約50%高く、特に茶茎での切断位置はほぼ先端部であった。先端部での切断は、前節の誘導姿勢を考慮した理論解析で述べたように、誘導開始

表Ⅲ-5 切断位置の検出実験における切断率（1990年3番茶期）

供試品種		やぶきた						うんかい					
供試材料		茎			芽（1心3葉）			茎			芽（1心3葉）		
作業速度 v_2 (m/s) (速度比s)	摘採角度 (deg)	切断率 (%)											
		全体	センサCからの位置		全体	センサCからの位置		全体	センサCからの位置		全体	センサCからの位置	
			前の場合	後の場合		前の場合	後の場合		前の場合	後の場合		前の場合	後の場合
0.08 (2.63)	30	64.8	50.7	14.1	100	61.5	38.5	40.0	30.0	10.0	100	70.0	30.0
	40	45.9	31.8	14.1	100	80.0	20.0	50.0	50.0	0	88.9	66.7	22.2
	50	69.3	58.9	10.4	90.0	70.0	20.0	60.0	50.0	10.0	100	70.0	30.0
0.12 (1.75)	30	41.5	41.5	0	90.0	30.0	60.0	30.0	30.0	0	100	80.0	20.0
	40	24.1	20.0	3.3	100	70.0	30.0	10.0	10.0	0	90.0	70.0	20.0
	50	41.1	30.8	10.4	80.0	50.0	30.0	50.0	50.0	0	90.0	60.0	30.0
0.16 (1.31)	30	27.8	17.4	10.4	90.0	40.0	50.0	20.0	20.0	0	60.0	30.0	30.0
	40	26.7	26.7	0	88.9	55.6	33.3	20.0	20.0	0	60.0	40.0	20.0
	50	27.8	24.4	3.3	87.5	62.5	25.0	10.0	10.0	0	90.0	40.0	50.0
0.20 (1.05)	30	16.7	3.3	13.3	50.0	0	50.0	0	0	0	50.0	20.0	30.0
	40	10.0	10.0	0	77.8	55.6	22.2	11.1	11.1	0	40.0	40.0	0
	50	13.3	13.3	0	66.7	66.7	0	0	0	0	70.0	40.0	30.0
0.24 (0.88)	30	6.7	6.7	0	60.0	10.0	50.0	10.0	0	10.0	55.6	33.3	22.3
	40	10.0	10.0	0	44.4	11.1	33.3	0	0	0	70.0	30.0	40.0
	50	16.7	16.7	0	33.3	22.2	11.1	20.0	20.0	0	40.0	20.0	20.0

時の茶芽の姿勢がかみ込まれ易い（たわみ角 γ が小さい）姿勢であることにくわえ、こぎ摘みロール先端部のらせん山が鋭角、すなわち、前実験の凸形円盤による切断に類似するためであると考えられる。なお、摘採角度 θ の変化では傾向が見られなかった。

(b)切断トルク

表Ⅲ-6に切断時の最大トルク（以下、切断トルクという）を示す。

赤外線センサCからの反応位置による区分では、前の場合が茶茎の下位を切断し、後の場合が上位を切断することから、茎径が大きく、かつ硬化し易い前者の切断トルクが大きくなると考えられる。しかし、その傾向は見られず、茶茎では約 $2.5 \sim 4 \text{ N} \cdot \text{cm}$ 、茶芽では約 $3 \sim 6 \text{ N} \cdot \text{cm}$ であった。

また、上述のように供試材料の性状によって違いが見られ、茶芽の方が最大 $3 \text{ N} \cdot \text{cm}$ 程度大きかった。これは、茶芽の切断トルクに加えて茶葉のこぎ摘み力が作用し、これが同時に計測されたためである。

(c)こぎ摘みロールにおける切断位置

こぎ摘みロールにおける供試材料の切断位置は、赤外線センサCを通過した時刻と切断トルクの発生時刻との差に処理速度 v_1 のこぎ摘みロール軸方向における速度（ v_1' ）を掛けて算出できる。その算出結果を表Ⅲ-7に示す。ただし、表に示した切断位置は、こぎ摘みロール先端から切断を生じた位置までの長さを表し、先端部の長さ 30 mm を含む。

摘採角度 θ について見た場合、 θ が大きくなるのに伴って切断位

表Ⅲ-6 切断トルク (単位: N/cm)

供試品種		やぶきた				うんかい			
供試材料		茎		芽(1心3葉)		茎		芽(1心3葉)	
作業速度 v_2 (m/s)	摘採角度 (°)	最大トルク (N·cm)							
		センサCからの反応位置		センサCからの反応位置		センサCからの反応位置		センサCからの反応位置	
		前の場合	後の場合	前の場合	後の場合	前の場合	後の場合	前の場合	後の場合
0.08	30	2.70	2.59	6.18	6.17	2.32	3.17	5.19	4.09
	40	2.90	3.69	4.79	3.32	2.00	-	3.20	3.80
	50	2.57	2.10	4.06	5.08	2.63	0.91	2.47	2.67
0.12	30	3.79	-	3.27	3.63	2.85	-	3.68	4.56
	40	2.82	1.41	5.36	3.58	1.42	-	2.70	2.75
	50	2.47	2.56	4.56	3.34	2.26	-	2.38	2.91
0.16	30	1.96	3.34	5.40	5.28	1.58	-	2.04	4.18
	40	2.43	-	4.01	3.77	2.36	-	3.03	3.23
	50	2.38	2.68	4.23	1.86	-	-	4.34	2.81
0.20	30	2.45	4.15	-	7.28	-	-	1.33	4.28
	40	2.89	-	6.37	3.72	2.97	-	6.07	-
	50	3.20	-	5.41	-	-	-	3.07	1.80
0.24	30	2.91	-	4.59	6.15	-	4.27	5.00	3.56
	40	5.03	-	4.76	5.63	-	-	3.29	5.28
	50	3.51	-	4.11	1.55	2.49	-	2.94	3.98

表Ⅲ-7 こぎ摘みロールにおける切断位置 (1990年3番茶期)

供試品種	摘採角度 (deg)	やぶきた		うんかい	
		切断位置 (mm)			
		供試材料			
作業速度 v_2 (m/s)		茎	芽	茎	芽
0.08	30	49.7	44.1	36.1	52.9
	40	36.7	39.7	-	36.1
	50	40.9	52.9	55.3	44.9
0.12	30	-	65.3	-	50.5
	40	50.5	45.7	-	45.7
	50	36.9	40.1	-	50.5
0.16	30	46.9	50.0	-	50.0
	40	-	48.1	-	40.9
	50	33.7	40.1	-	40.4
0.20	30	41.3	50.5	-	60.1
	40	-	48.1	-	-
	50	-	-	-	36.9
0.24	30	-	77.8	43.3	70.0
	40	-	50.5	-	51.7
	50	-	38.5	-	37.3

置が短くなる傾向が見られた。一方、作業速度 v_2 について見た場合、摘採角度 $\theta = 30^\circ$ で作業速度 v_2 を 0.08m/s から 0.24m/s に速くすると、切

断位置が約 50mm から約 20mm 程度後方に移動したものの、その他の角度ではほとんど差がなかった。

なお、茶芽が傾斜角 β に前傾してこぎ摘み部に誘導されることは、赤外線センサ AC 間の水平距離を作業速度 v_2 で割った値、つまり直立した茶芽がセンサ AC 間を移動するのに要する時間と実際にかかった時間との差から示され、本実験ではその差が約 0.03~0.10s であった。しかし、摘採角度 θ が大きくなるのに伴う傾斜角 β の増加、すなわち、前述の時間差が大きくなる傾向は、サンプリングレートが低いために見られなかった。このため、記録部のメモリを拡張して、さらに微細な時間でのデータ取得を行う必要がある。

4. まとめ

本章の目的は、こぎ摘みロール機構におけるかみ込み作用のメカニズムを解明し、本作用の発生を防止したこぎ摘みロールの設計要

素を明らかにすることである。

かみ込み作用は、茶茎とこぎ摘みロールとの摩擦要素、切削要素、および、かみ込む方向に作用するこぎ摘み力の分力、茶茎の復元力の分力等から構成されると考えられる。そこで、摩擦要素について理論的解析を行い、その要素が茶芽切断に対して影響する大きさを検討した。

理論解析は、こぎ摘みロールと茶茎の接触に伴う「かみ込み」の発生条件を設定するもので、こぎ摘みロールのリード角 α と茶芽の供試姿勢（たわみ角 γ ）についてそれぞれ展開したものである。また、この理論解析に必要なこぎ摘みロール材料と茶茎との摩擦係数 μ の測定実験を行った。

一方、リード角 $\alpha = 0^\circ$ のこぎ摘みロールの断面模型に、茶茎をかみ込む方向に押す力を作用させる実験装置を製作した。これを用いて、かみ込み作用のメカニズムを構成するこぎ摘み力の要素の必要性を検討した茶茎切断実験を行った。また、こぎ摘み力の要素が茶芽の切断に大きく影響するかを検討するために、こぎ摘みロールを用いた切断位置の検出実験を行い、以下の結果を得た。

① 摩擦要素についての理論解析では、かみ込みを生じないこぎ摘みロールの最大径、摩擦係数 μ 、リード角 α 、および茶茎のたわみ角 γ との関係を求めることができた。

② ①で求めた関係を用いて切断を生じないこぎ摘みロールの設計要素を④のように得ることができる。

③ ピン-回転円盤法の実験装置を製作し、こぎ摘みロールの材料である POM と茶茎（品種：ゆたかみどり）との摩擦係数 μ の計測実験を行い、 $\mu = 0.58 \sim 0.68$ を得た。

④ ③で得られた μ を①の理論解析に代入してかみ込みを生じないこぎ摘みロールの直径を求めた場合、茶茎の直径が $d = 2\text{mm}$ の時に $\phi 10\text{mm}$ 以下となることが判明した。

⑤ 茶茎の切断は、こぎ摘み力の分力やらせん溝の溝縁形状によって発生することがわかった。

⑥ 切断のメカニズムには、茎径等の外的因子を考慮した摩擦要素に加えて、皮下組織の硬化や茶シブの浸出等の質的因子等も重要な要素である。

⑦ こぎ摘み力は、茶芽の切断を誘発する要素であることが判明した。しかし、この力を生じるこぎ摘み作用はこぎ摘みロール機構の主作用であるため、その要素の抑制は困難である。このため、他の要素について茶芽の切断の抑制を検討する必要がある。

⑧ こぎ摘みロールの先端部で茶芽の切断が多く、速度比 $s = 1$ の場合では平均切断率が約30%、 $s = 2.6$ の場合では約70%を示した。これより、こぎ摘みロールでの茶芽切断を減少するには、先端部のらせん山形状の改良等が必要である。

⑨ こぎ摘みロールのこぎ摘み部における茶芽の切断位置は、こぎ摘みロール先端からほぼ40~70mm（先端部長さ30mmを含む）の前半に集中した。

以上の結果から、かみ込みを生じないこぎ摘みロールの設計要素は、こぎ摘みロールの直径とこぎ摘みロール先端部の改良にある。

仮に、 $\phi 10\text{mm}$ のこぎ摘みロールを製作するのにあたり、同じ処理速度 v_1 を得るために同一のピッチとリードのらせん溝を加工した場合、リード角 α は大きくなる（ $10.8^\circ \rightarrow 20.9^\circ$ ）。このことは、リ

一ド角 α を考慮した解析より、かみ込みが起り易くなったことを表す。すなわち、こぎ摘みロールの径を小さくすることによるかみ込み発生抑制効果が相殺されることになる。このため、本機構の設計要素の設定にはさらに熟考を要する。

第IV章 摘採機の試作と摘採生葉の品質³⁸⁾

こぎ摘みロール機構によって得られる摘採茶葉の品質向上を検討する上で、試作した本機構で摘採した生葉の品質を詳細に調べることは重要である。

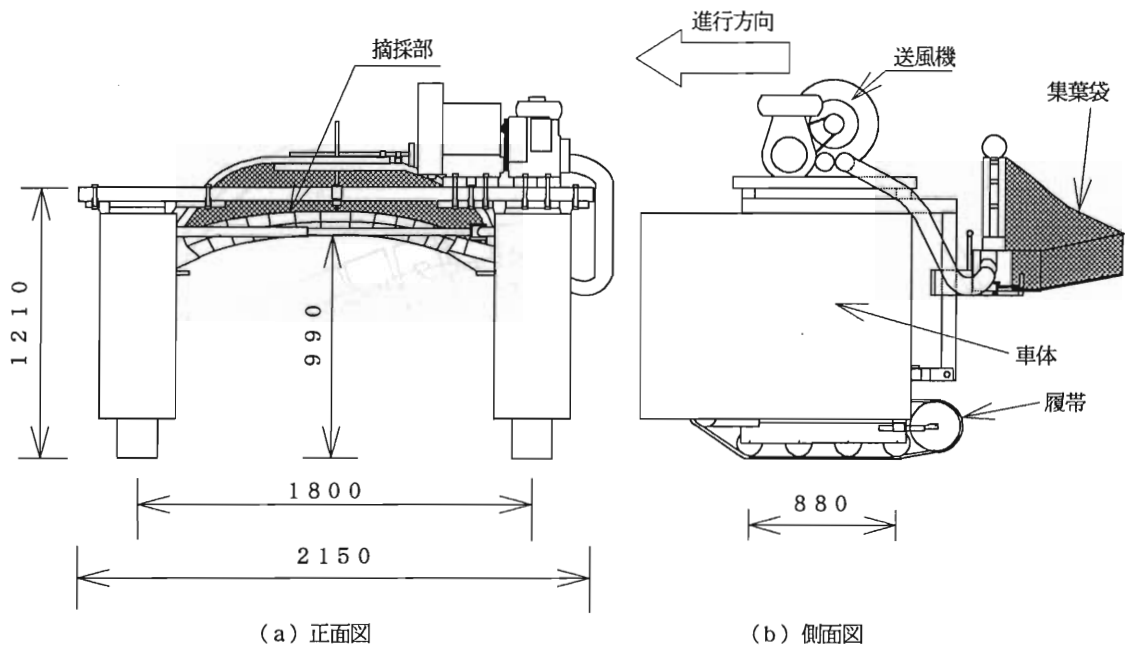
また、第II章で述べた室内摘採実験における茶芽の供試状態は、実際の茶樹に生育した茶芽と異なる。すなわち、室内摘採実験では、茶芽の下端を固定して使用したのに対し、圃場では茶樹の密生した枝に生育した茶芽を摘採する。そのため、本機構を圃場で使用した場合、こぎ摘み穴で茶芽が持ち上げられて枝がたわむため、室内摘採実験とは異なったこぎ摘み現象が生じると考えられる。

そこで本章では、第II章で開発したこぎ摘みユニットを用いて摘採機を試作し、それを用いた圃場実験を行ない、摘採された生葉の性状について室内摘採実験との比較を行った。また、圃場実験で摘採された生葉を製茶の品質面でも検討するため、摘採生葉を製茶して官能審査に供した。

1. 摘採機の概要

試作した2人用自走型摘採機の全体図を図IV-1に示す。本機は、市販のクローラ型野菜運搬車（田中製作所製、VC-750B）を改造したもので、最高樹高990mm、最大畝幅1800mmの摘採が可能である。

2人のオペレータは、それぞれ車体の左右後方に位置し、右側では摘採機の操舵、動力伝達の断続、および作業速度の制御を行なう。また、左側では摘採部の摘採高さの調節、および茶畝横方向に対する摘採部の位置調節を行なう。なお車体の左側と右側の側面は鋼板



図IV-1 摘採機の全体図

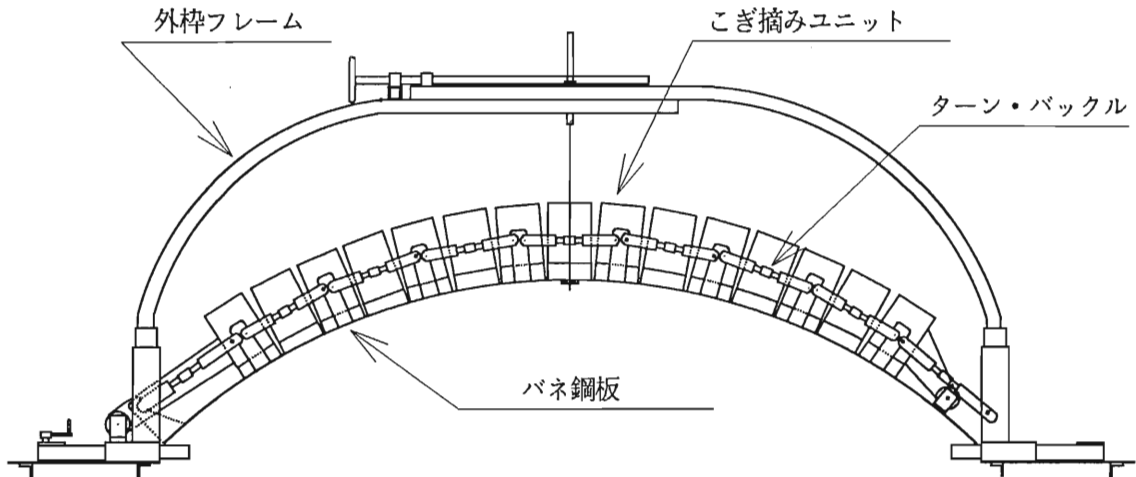
で覆い、供試茶樹の損傷を防止する構造とした。

本試作機は、①こぎ摘みロール機構を用いた摘採部、②クローラ型の走行部、③摘採部の摘採高さを調節する油圧昇降機構、および④摘採された生葉を移送し、集める生葉捕集部から構成されている。それぞれの概要を以下に説明する。

(1) 摘採部

摘採部は、有効摘採幅が1260mmの一畝摘採型である。その摘採機構は、室内摘採実験で用いたこぎ摘みユニットと同じで、これを並列に15個並べたものである。なお、こぎ摘みユニットの設計要素は、こぎ摘みロールが前章で用いた2条こぎ摘みロール、その他の要素は第II章の室内摘採実験と同様である。

また摘採部は、摘採面を平面や弧状仕立てのいずれにも対応できるようにするため、図IV-2に示す9組のターンバックルを用い、その長さを変えて摘採面の形状に合わせることができる。



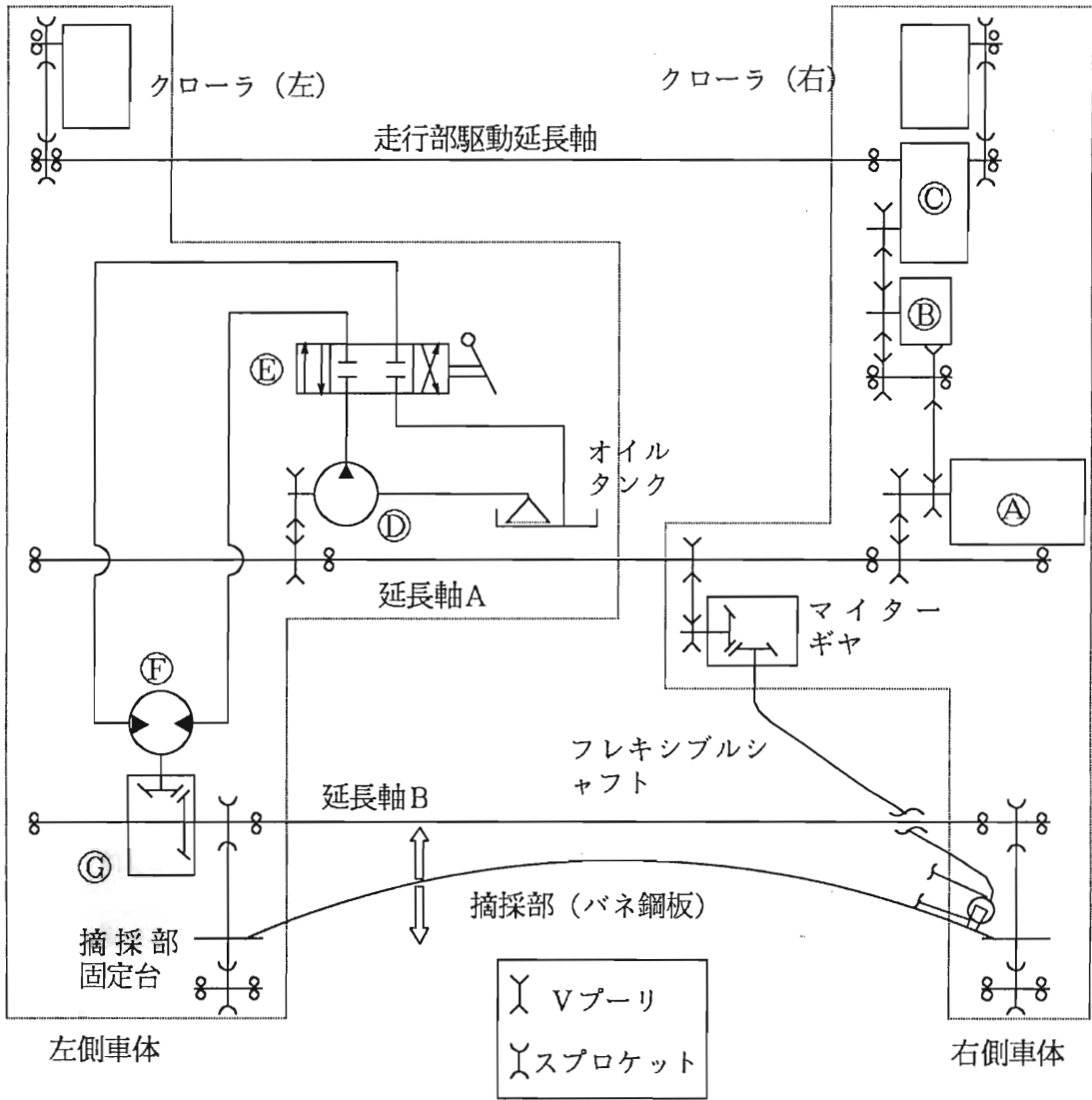
図IV-2 摘採部における湾曲形成 (背面図)

こぎ摘みロールの回転速度は、主エンジンの定格回転速度（1800 rpm）の時に室内摘採実験と同一の処理速度（ $v_1 = 0.21\text{m/s}$ ）になる1200rpmに設定した。なお、摘採部は、オペレータによる摘採状況の監視、および摘採高さの調節が容易なように車体の後部に設置した。

(2) 走行部

動力伝達経路の略図を図IV-3に示す。走行部には、踏圧による根の成長阻害等を避けるため、接地長さ880mm、幅180mmの有芯ゴムクローラを用いた。車体右側には、ガソリン機関④（仕様は図中に記載、以下、主エンジンという）を取付け、この動力を走行部の駆動力の他に、マイターギヤ、およびフレキシブルシャフトを介して摘採部に伝達する構成とした。主エンジンの動力は、延長軸Aを介して、左側の車体内に取付けた油圧昇降機構（詳細は、後述）に伝達される。

走行部は、手動式無段変速機⑤、トランスミッション⑥、および左側クローラへの走行部駆動延長軸から構成され、これらを介して



- ①主エンジン : 4サイクルガソリン機関、カワサキ製
最大出力：3.8kW、定格出力：2.6kW
- ②手動式無段変速機 : 三木プーリ製、UB-160、変速比：1 / 3 ~ 3
- ③トランスミッション : 前進2速、後進2速クラッチ組込み
- ④油圧ポンプ : 日本エアブレーキ製、GN-2KXA、容量：4.6cm³/REV
最高定格圧力：0.16Pa
- ⑤コントロールバルブ : 日本エアブレーキ製、SC3A-1R2V2
定格圧力：0.21Pa、定格流量：0.05m³/分
- ⑥油圧モータ : 仕様は④に同じ
- ⑦ウォーム減速機 : 椿本チエイン製、SM12B1-LF、減速比：1 / 60

図IV-3 動力伝達経路

主エンジンの動力が、左右のクローラに伝達される。

作業速度 v_2 は、主エンジンの定格回転速度の時に $0.08 \sim 0.12 \text{ m/s}$ (前進 1速時)、 $0.16 \sim 0.24 \text{ m/s}$ (同 2速時) に設定できる。これは、室内摘採実験において設定した作業速度の範囲とほぼ同一であり、この時の速度比 s は $2.63 \sim 1.75$ (1速)、 $1.31 \sim 0.88$ (2速) である。

(3)油圧昇降機構

本機構は、摘採部を適切な摘採高さに随時調節するものであり、その概略を図 IV-3 の左側車体内に示す。

主エンジンによって、油圧ポンプ④(仕様は、図中に記載)を駆動し、コントロールバルブ⑤の操作によって油圧モータ⑥に伝達される。さらに、この回転は、ウォーム減速機⑦を介し、延長軸 B に伝達され、左右固定台に取付けた摘採部を昇降する。この摘採部の昇降運動は、車体の左右後部にそれぞれ取付けた 2本 1対の垂直支柱に沿って円滑に行われる。昇降速度は、主エンジンの定格回転速度時で 40 mm/s に設定した。なお、ウォーム減速機は、減速と同時に、コントロールバルブを操作していない時に摘採部が下降することを避ける機能も有する。

(4)生葉捕集部

生葉捕集部は、各こぎ摘みユニットに装着した移送管に圧送空気を送り、摘採された茶葉をこぎ摘みユニット後方へ移送し、捕集する機能を有する。これは、ガソリン機関駆動の送風機(図 IV-1 の摘採機上部、日立製作所製、VB-037-D、最大風量： $6.85 \text{ m}^3/\text{分}$ 、最大

静圧：2580mm Aq)、各ユニットへ圧送空気を分配する分配ゴムホース、移送管、および生葉を捕集する捕集ネット袋によって構成されている。圧送空気は、各こぎ摘みユニット側面の穴（ $\phi 70\text{mm}$ ）を通る分配ゴムホースによって各ユニットの移送管へ分配される。

また捕集ネット袋は、摘採部の後方（図IV-1）に取付け、図IV-2に示した外枠フレームを用いて上部を、またバネ鋼板に沿って下部をそれぞれクリップで装着し、摘採作業時の脱着を容易にした。なお、この捕集ネット袋は、生葉10kg程度を捕集できる大きさとした。

2. 実験条件

(1) 栽培条件

本実験における茶樹の栽培条件と生葉の区分については、茶関係問題別研究会の定めた「収量の変化を主たる目的とした試験」、および「乗用型摘採機の利用試験」³⁰⁾を参考にした。その概要を以下に示す。

まず、栽培条件の調査では、 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ または $20\text{cm} \times$ 摘採面幅の枠内に植生する茶芽を摘採し（前者を枠摘み、後者を帯摘みと称す）、平均芽長、平均芽重、植生密度 ρ 、出開度 λ 、1芽あたりの平均葉数、さらに樹形寸法を調べた。その結果を表IV-1に示す。

ここで出開度 λ は、摘採可能な全茶芽本数に占める出開芽（茎頂の葉芽が葉化した芽）の本数を百分率で示したものである。 λ は、一般に茶樹の成熟度を示し、摘採適期の指標として用いられ、標準の機械摘みの場合、 $\lambda = 60 \sim 80\%$ である⁴⁰⁾。しかし、近年では、消費段階における高品質指向に伴なって生葉の品質を向上するため、出開度 λ が30%前後での摘採も行われている。なお、本実験では、

表IV-1 茶樹の栽培条件と収量

摘採期	1987年 3番茶期						1988年 1番茶期							
	7/27		7/28		8/3		5/12	5/13	5/14		5/16		5/17	
試験日	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
実験No.														
品種	やまなみ													
畝の長さ (cm)	16.4	7.2	7.5	7.3	5.8	7.4	60				60			
畝幅 (cm)	143	135	165	160	155	160	173				171			
株間 (cm)	42	50	40	50	40	30	33				32			
株張り (cm)	96	130	140	100	145	138	135				130			
裾高 (cm)	59	67	60	60	34	35	54				61			
摘採面積 (cm)	105	150	150	115	182	180	145				139			
樹形	円							弧						
芽数 (本/cm ²)	0.24	0.25	0.29	0.26	0.19	0.22	0.21	0.14	0.13	0.18	0.16	0.19		
芽重 (g/本)	0.32	0.33	0.35	0.30	0.66	0.45	0.53	0.51	0.71	0.80	0.69	0.88		
出開度 (%)	76.9	84.6	99.6	99.6	98.2	97.7	8.7	12.1	8.5	18.9	20.5	17.3		
芽長 (cm)	3.7	3.4	3.6	3.0	5.8	5.3	9.0	8.1	11.8	11.9	10.9	13.2		
葉数 (枚/本)	4.0	4.8	3.8	3.5	3.5	3.7	3.6	3.3	3.8	3.9	3.8	3.9		
収量 (kg/m)	0.17	0.22	0.34	0.23	0.25	0.21	0.33	0.27	0.26	0.23	0.41	0.29	0.22	0.28









実験場所：宮崎県総合農業試験場茶業支場

生葉の収穫量を捕集ネット袋の容量以下にするため、畝長さが 5m 程度の茶畝と畝長さ 60m の茶畝では帯摘みにより 10m ごとに区切って供試した。

供試品種は、3番茶期が育種中の品種を供試したのに対し、1番茶期では「やまなみ」を用いた。この3番茶期と1番茶期の栽培条件を比較すると、前者では植生密度 ρ が高く（芽数が多く）、芽長が短く、芽重が軽い芽数型を示したのに対し、後者では対照的な芽重型^{4,2)}であった。また出開度 λ では、前者が 70~100% と摘採適期を外れ、茶芽の硬化が著しく進んでいたのに対し、後者は 10~20% の良好な状態であった。なお2番茶期の栽培条件は、未計測のために比較できないが、一般に前者と後者の中間的な条件、すなわち、3番茶期に比べて芽数が若干少なく、芽長が長く、植生密度 ρ は低いものと推定される。

(2) 摘採茶葉の性状分類

次に、摘採された生葉は、8種類の性状に分類した（図IV-4）。正常芽とわか離れ葉は品質の高い性状であり、茎芽と切れ茎芽は硬

芽		葉	
無傷芽	傷芽	離れ葉	切れ葉
正常芽 	切れ芽 	わか離れ葉 	大切れ葉 
茎芽 	切れ茎芽 	こわ離れ葉 	こま切れ葉 

図IV-4 摘採茶葉の分類

- 注) ・大切れ葉に、扱取りロールによる損傷葉は含む
 ・切れ葉の大小は6号フルイにより選別
 ・茶業研究報告64号³⁹⁾より引用

化茎や木茎を含み、こわ離れ葉は古葉を含む。また、傷芽と切れ葉は貯蔵の際に発酵し易い性状である。

これを本機構による摘採から見た場合、正常芽は、こぎ摘み作用か、かみ込み作用による結果と見なせる。わか離れ葉と切れ葉は、本機構の選択的摘採によって得られた生葉のため、前者の比率が後者に比べて高い場合を良好な選択的摘採として内容評価を行うことができる。また切れ芽は、切断式摘採機構による摘採の際の2度以上の切断作用を受けた生葉とは異なり、摘採後の捕集までの過程で損傷を受けた茶芽である。

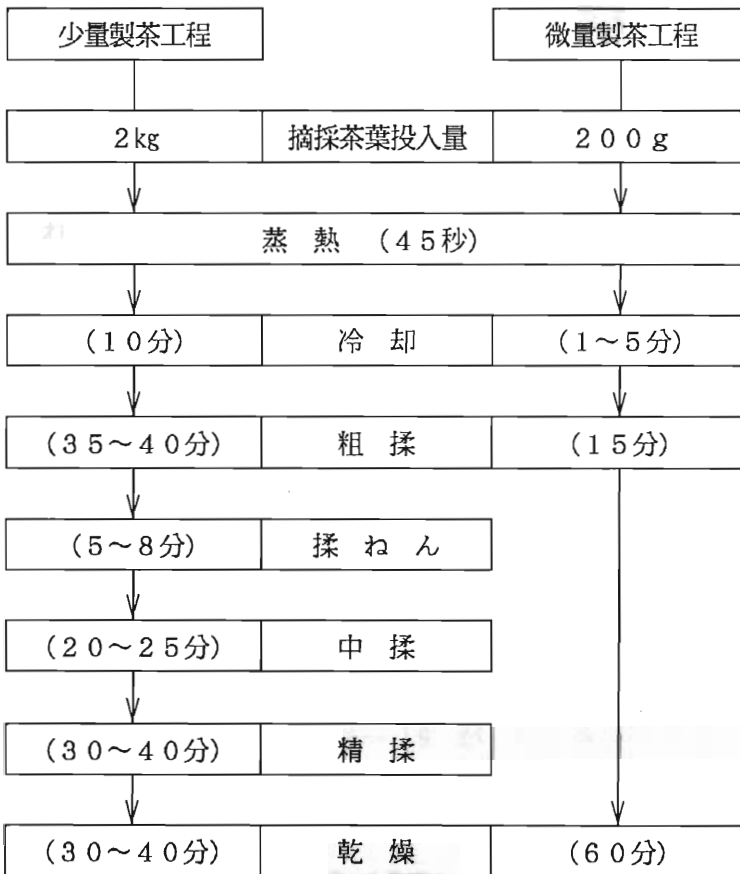
茎芽の比率は摘採高さに関係し、摘採高さが「適切」か「浅摘み」の状態であれば、茎芽の比率は低くなる。一方、「深摘み」の状態では、比率が高くなり、こわ離れ葉も発生し易くなる。

(3) 実験方法および実験条件

実験は、① 前述の供試茶畝の栽培条件の調査、② 作業速度 v_2 の設定、③ 摘採、④ 前述の摘採生葉の分類、そして 1 番茶期における⑤ 生葉の製茶、および⑥ 官能審査の手順で行った。

作業速度 v_2 は、1987年の2、3番茶期には、摘採機の操作、作業の手順等を確認するため、低速（0.08～0.09 m/s）とした。また、1988年の1番茶期には、作業速度 v_2 の変化に伴う摘採状況の変化を検討するため、0.09, 0.13, 0.16, 0.22m/sの4段階に設定し、これを2回繰り返した。なお、こぎ摘みロールの処理速度 v_1 は 0.21m/sである。

(4) 製茶工程



製茶では、生葉の発酵による品質劣化を防ぐため、摘採後直ちに加工した。ここで、図 IV-5 に本実験で実施した少量、微量製茶工程を示す。少量製茶工程は、一般の製茶工程とほぼ同じであるが、製茶後の木茎を静電気等にて除去する工程は含まれていない。また、微量製茶工程は、

図IV-5 製茶工程
備考) 括弧内は各工程の標準処理時間を示す

縮炒り（茶葉を乾燥しながら針状に加工する工程）が足りず、少量製茶工程に比べ、概して官能審査の評価は低い。なお、生葉の加工は、宮崎県総合農業試験場茶業支場内の製茶工場で行った。

実験は、2番茶期を1987年6月17日～18日、3番茶期を同年7月29日～8月3日、および1番茶期を1988年5月12日～17日の3期で行った。供試圃場は、茶業支場内の育種、および栽培圃場である。

3. 実験結果および考察

(1) 作業精度

一般の切断式摘採による生葉の評価においては、正常芽やわか離れ葉の含有を多くし、特にこま切れ葉の混入を避けなければならないと言われている。また摘採後の茶畝表面の性状は、一律に平面的摘採を行なうため、平らな刈り跡が良いとされる⁴²⁾。これらは、生葉を製茶する際の一時貯蔵の時に切れ葉等による発酵を抑制しなければならないことや一律的な摘採を行った時の古葉、木茎の混入を防止すること等の理由によるものである。

一方、本摘採機では、茶芽の物理性に依存して木質化した茎を残して柔らかい上部の芽を摘採するため、図IV-6に示す凹凸のある茶畝表面を呈した。これは、本機構の選択的摘採を明確に示すものである。

図IV-7に作業精度を示す。実験番号は、No.1～5が2番茶、No.6～11が3番茶、No.12～19が1番茶を示す。なお、作業速度 v_2 は、2,3番茶のNo.1～11で $v_2 = 0.08 \sim 0.09 \text{m/s}$ 、1番茶期のNo.12,16で $v_2 = 0.09 \text{m/s}$ 、No.13,17で $v_2 = 0.13 \text{m/s}$ 、No.14,18は $v_2 = 0.16 \text{m/s}$ 、およびNo.15,19で $v_2 = 0.22 \text{m/s}$ となる。また、実験番号のA,Bは、

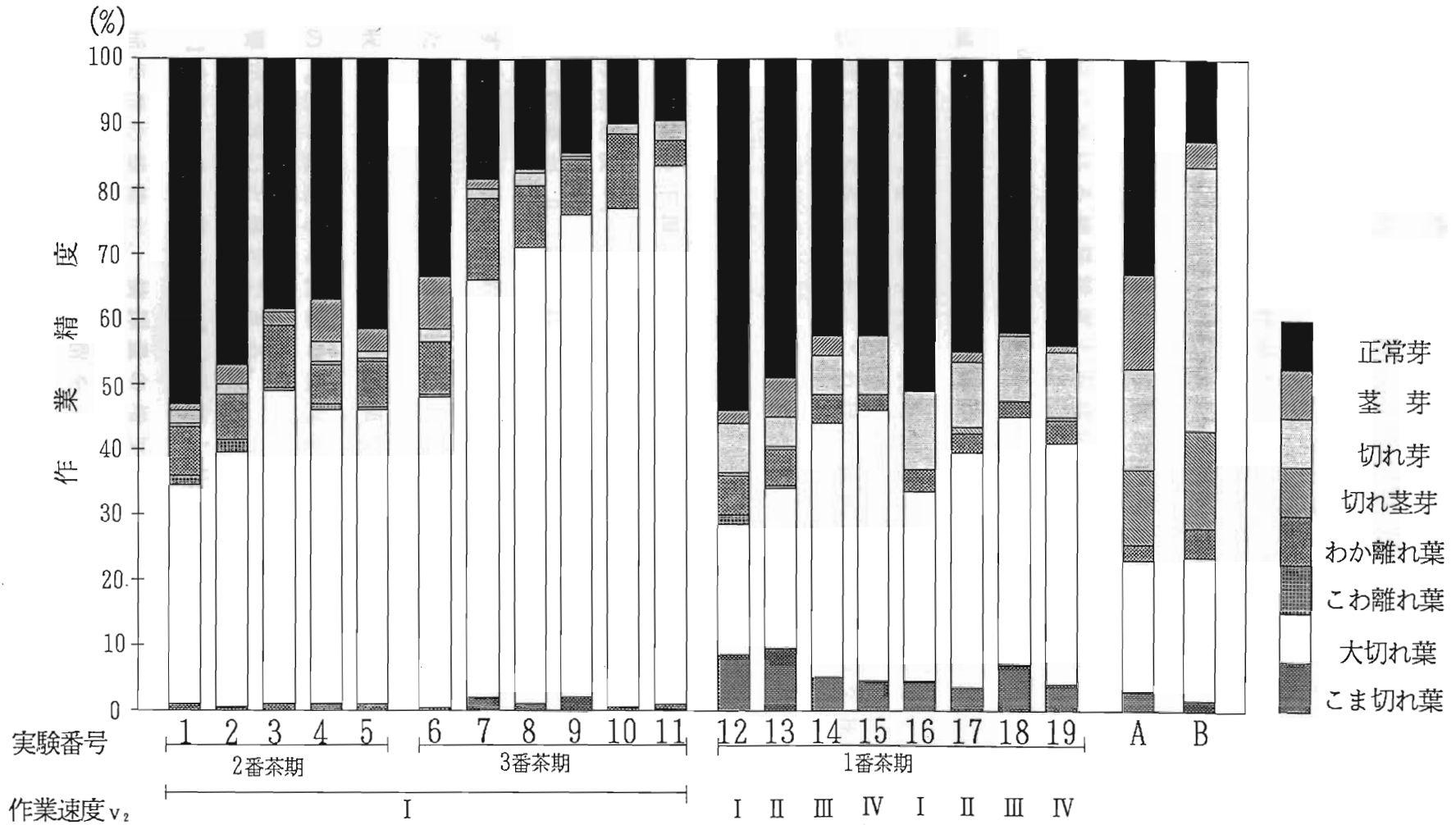


図 IV -6 摘採後の茶畝表面

市販機とは異なるが、過去に供試された往復動刃型摘採機の作業精度（Aは全茶期⁴³⁾、Bは上段摘採の1番茶期⁴⁴⁾の平均値）である。

2番茶（No.1～5）は、正常芽の摘採割合が40～50%と多く、こぎ摘み作用による「破断」とかみ込み作用による「切断」との摘採が多く生じたことがわかる。またNo.4では、茎芽の割合が高かったが、これは深摘みの状態であったことによる。これから本期の正常芽の摘採割合は、摘採高さによっても変動することがわかる。

次に3番茶（No.6～11）は、正常芽の割合が減少し、大切れ葉の割合は45～80%を示した。これは、短い芽長（芽数型）の茶芽を摘採したため、摘採高さが短くなり、かみ込み作用等による茶芽の切断は現れなかったためと言える。さらに、本期では、出開度 λ が高



図IV-7 作業精度

備考) 実験番号A: 往復動刃型摘採機 (文献43の全期データ平均値)

B: 同上 (文献44の上段摘みデータの平均値)

作業速度 v_2 : I = 0.09m/s, II = 0.13m/s, III = 0.16m/s, IV = 0.22m/s

くなり、茶茎の硬化が進んだため、茎の残留が著しく、茶葉のみが摘採される選択的摘採が確認できた。

1番茶（No.12～19）では、作業速度 v_2 の変化に伴って正常芽と切れ葉の割合に逆の傾向が見られた。すなわち、作業速度 v_2 の増加（No.12→15、およびNo.16→19）に伴い、正常芽の割合が減少し、切れ葉の割合が高くなる傾向が見られた。このことは、室内摘採実験における摘採精度と同様の傾向である。これを詳細に見ると v_2 の増加（速度比 s の減少）に伴い、正常芽は約50%から約40%に減少し、大切れ葉は約25%から約40%に増加した。さらに正常芽は、前述の3番茶より15～40%程度増加して破断または切断現象が生じ易いことを示した。これは、供試した茶芽の芽長が長い（芽重型）ことと出開度 λ が低いこと、すなわち茶芽が柔らかいこと等が原因と考えられる。

表IV-1の最下段に摘採作業距離あたり収量を示した。これによると、作業速度 v_2 の低下（No.15とNo.12、およびNo.19とNo.16）によって収量が $0.1\text{kg}/\text{m}$ 程度増加する傾向が見られた。正常芽は茎を有するため、同じ葉数のわか離れ葉や切れ葉に比べて重くなる。このため、正常芽の割合が高いことは、収量の増加を意味する。ただし収量は、摘採高さ、茶芽の植生密度の疎密等でも変化するが、実験の2回の繰返しで同様の傾向を示したことから、作業速度 v_2 の影響が大きいと推定できる。

1番茶の切れ芽は、2,3番茶と比べ約5～10%高いが、これは生葉捕集部の機能が、摘採量の増加、ならびに重い芽重のために十分機能せず、摘採部での残留を生じ、損傷したためである。また、こま切れ葉の割合が3番茶より増加したのは、1番茶期で用いたフル

イ（6号）のマス目が3番茶で用いたもの（3号）より大きく、通過する切れ葉の量が増えたためである。

わか離れ葉は、3～6%とほぼ一定であったが、切れ葉と比べ約25～75%程少なかった。これは、こぎ摘み穴径が大きいこと、茶芽の性状等が原因と考えられる。しかし、こぎ摘み穴径をφ 2.5mmにした場合、こぎ摘み穴での茶茎の押し付けが生じてこぎ摘みロールの誘導性能を低下させる恐れがあるため、このことについては、より詳細な検討が必要である。なお、茎芽、およびこわ離れ葉の割合が、それぞれ0～6、0～1.5%であり、No.13,14は、深摘み状態であったと判断できる。

最後に実験番号A,Bと比べた場合、同期の同品種による摘採ではないため、直接の比較はできないが、正常芽と大切れ葉の比率が高かった本機の作業精度と異なり、往復動刃型では茎芽、切れ芽、切れ茎芽の割合が高く、特に茎芽と切れ茎芽が多い。これは、非選択的摘採により硬化茎等の混入が生じたためで、摘採方式の違いが見られた。

以上の結果をまとめると、本摘採機構における摘採生葉の性状の特徴は、正常芽、および大切れ葉の増減に見られ、この性状の変化を支配する因子は、芽長、摘採高さ、および速度比sであった。

(2)官能審査

審査の結果を表IV-2に示す。この製茶番号は、前述の作業精度の実験番号に対応している。審査は、宮崎県総合農業試験場茶業支場の3人の審査員により、摘採品種「やまなみ」の最高品質の製茶を想定した各項目20点満点（5項目より計100点）の合議制で評点し

表IV-2 官能審査の結果
(1988年1番茶期、品種：やまなみ)

圃場実験	製茶番号	作業速度 m/s	審査項目(各項目20点満点, 合計100点満点)						摘採方法
			形状	色沢	水色	滋味	香気	合計点	
1 巡目	12	0.09	16	15	15	16	18	80	試作茶葉 摘採機
	13	0.13	4	9	16	19	19	67	
	14	0.16	16	12	14	13	18	73	
	15	0.23	20	10	12	15	20	77	
2 巡目	16	0.09	19	17	14	16	19	85	
	17	0.13	16	19	17	15	20	87	
	18	0.16	18	18	15	16	18	85	
	19	0.22	17	20	17	19	19	92	
サンプル	20	-	12	11	20	20	16	79	手鋏み
	21	-	13	11	19	17	16	76	
	22	-	14	17	16	18	18	83	市販摘採機

注) No. 13の製茶は、微量製茶工程(生葉:200g)により製茶
No. 22の製茶は、120kgラインにより製茶
その他は、少量製茶工程(生葉:2kg)により製茶

た。

またNo.20以降は、同期に他の方法で摘採した比較用の製茶で、No.20,21は手鋏みによる摘採、No.22は、シリンダ刃型の半畝型市販機による生葉の製茶品質を示し、生葉投入量120kgの一般型製

茶工程により加工したものである。ただし、製茶No.13は、微量製茶工程において加工したため、審査項目のうち形状(茶葉のよれ状態、大きさ、しまり等の外観と木茎、こわ葉等の混入状態)および色沢(製茶の色)の評価点は低かった。

各項目の合計点で比較すると、No.13を除く全製茶とも鋏摘みや市販摘採機によるものと同様かそれ以上の評価となり、良好な結果を得た。さらに、この結果を各項目について見た場合、試作摘採機に比べ鋏や市販機では、水色(浸出液の色)と滋味(浸出液の味)が高いものの、これらの項目には、製茶時の摘採生葉の乾燥程度が大きく影響するため、生葉の品質には、直接影響しないものと考えられる。これに対し、摘採機構の違いによる生葉の品質評価を示すと考えられるのが形状項目である。この形状項目では、明らかにこぎ摘みロール機構の評価が高く、全ての摘採条件で鋏や市販機の評

点を上回った。この項目についてさらに詳細に考察するために、表IV-3に示すような製茶 50gに含まれる夾雑物の割合について調べた。

表IV-3 製茶に含まれる夾雑物の割合

製茶番号	赤茎 (%)	白茎 (%)	黄葉 (%)	合計 (%)	形状審査点 (20点満点)	
1 巡 目	12	1.2	4.0	5.4	10.6	16
	13	0.2	1.7	5.0	6.9	4
	14	0.6	3.5	2.6	6.7	16
	15	0	1.0	0.2	1.2	20
2 巡 目	16	0	1.4	0.2	1.6	19
	17	0.3	1.3	0.2	1.8	16
	18	0	1.0	0	1.0	18
	19	0	1.4	0.1	1.5	17

備考) ・表内の割合は、重量パーセント

・No. 13は、微量製茶工程、その他は少量製茶工程による製茶

・赤茎は前年の茎、白茎は新年の下部の茎、黄葉は前年の葉

表中の赤茎は前年の茎、白茎は今年下部の茎、および黄葉は前年の葉（古葉）を示す。いずれも製茶品質を低下する要因であるため、それらの混入割合は少ない方がよい。

まず製茶No.12~14は、深摘みの状態であったため、夾雑物、特に黄葉の含有を高めた。また、No.12,14の白茎の混入割合の増加も深摘みによるものと考えられる。

一方、No.15~19では、作業速度 v_2 の変化に伴う摘採生葉の性状の変化に関係なく白茎が約1%混入し、赤茎、黄葉はほとんど含まれていなかった。この白茎の混入は、茶芽の物理性のばらつきに関係し、白茎を生じる位置で茶茎が破断される茶芽の存在を示すものと考えられる。また、かみ込み作用によって茶芽を切断した位置は、生葉の品質を低下しない摘採高さより上の位置に作用したものと判断される。

最後に、本項目では未審査の2,3番茶の摘採生葉について考察し

た場合、切れ葉が多いことから、夾雑物の混入がさらに減少するため、高品質茶が得られると考えられる。

4.まとめ

試作段階におけるこぎ摘みロール機構を用いた摘採機を開発し、その作業精度と生葉の製茶品質を検討し、以下の結果を得た。

- ① 作業速度 v_2 が小さく（速度比 s が大きく）なるのに伴って正常芽が増加する傾向を示し、第Ⅱ章の室内摘採実験と同様の傾向を示した。
- ② 選択的摘採による正常芽と切れ葉の割合（重量百分率）が高く、特に、切れ葉の割合は、芽長の長い1番茶期で30～50%、芽長の短い3番茶期で50～80%を示し、芽長による摘採生葉の変化が見られた。切れ葉による生葉品質の劣化を防止するためには、これをわか離れ葉として摘採するようにこぎ摘み穴径等の設計要素を検討する必要がある。
- ③ 本機構は、上述のように若干の改良点はあるものの、序章で述べた摘採機開発上の問題点をほぼ解決した結果を得た。
- ④ 摘採した生葉を製茶して官能審査を行ったところ、鉸摘み、および市販摘採機に比べ同等かそれ以上の品質を示した。これは、審査の形状項目において顕著に見られ、選択的摘採によって木質化した茎の混入が少ないためであった。

第 V 章 総 括

機械による摘採生葉の品質向上を目指して考案されたこぎ摘みロール機構は、手摘みの手法の 1 つのこぎ摘みに類似した摘採を行うものである。そこで、本機構の試作を伴ったいくつかの基礎実験を行った結果、摘採機を開発するのに必要な 1 本の茶芽には 1 回で摘採が終了すること、および連続的摘採が可能であること等の課題を満足した。

一方、それらの基礎実験からは、速度比 s が $s > 1$ の時、こぎ摘みロール下面で生じるかみ込み作用が原因と考えられる茶茎モデルのかみ込み現象が見られた。これより、本機構で実際の茶芽を摘採する場合、茶芽の切断が考えられ、摘採生葉中にかみ込み作用による不適切な茶芽が含まれる恐れがある。

また、こぎ摘みロール機構の設計要素の設定方法には、ほとんど適切な方法がない。そこで、本研究では、かみ込み作用による茶芽の切断問題を解消したこぎ摘みロール機構の設計要素の設定を検討した。

第 I 章では、こぎ摘みロール機構を設計する上で重要な本機構の基礎的な設計要素を設定するため、こぎ摘みロール機構における摘採性能の限界を示す最大作業速度 v_{2MAX} を設定した。また、こぎ摘みロール機構に誘導・摘採される茶芽の姿勢を直線モデルと仮定して速度比 s ($=$ 処理速度 v_1 / 作業速度 v_2) を変化した場合の誘導姿勢についてシミュレーションを行った。

また、こぎ摘みロール機構の主作用であるこぎ摘み作用について、そのメカニズムを調べるため、現場用すごき試験器を開発して実験

に用いた。その結果、こぎ摘み穴が傾斜した場合に茶芽の破断割合が増加し、強いこぎ摘み作用が得られることを明らかにした。さらに、こぎ摘み抵抗力 F_p と茶芽性状との関係を調べた結果、こぎ摘み作用の発生の有無が茶葉の性状（葉面積、および葉厚）から決まり、こぎ摘み抵抗力 F_p の大きさが生葉の摘採状態によって異なることがわかった。

第Ⅱ章では、茶芽の誘導から摘採茶葉の処理までの機能を一体化したこぎ摘みユニットを試作し、これを用いた室内摘採実験を行った。その結果、本機構は選択的摘採の機能を十分に有することが確認できた。しかし、かみ込み作用による不適切な茶芽の摘採も見られた。

第Ⅲ章では、茶芽の切断問題を解消した適切なこぎ摘みロール機構の設計要素を得るため、茶芽の切断原因のかみ込み作用に注目し、その発生メカニズムの理論的、かつ実験的な解明を目的とした。このため、かみ込み作用を構成すると考えられるいくつかの要素を明らかにし、その中から茶芽の切断に大きく影響すると考えられる摩擦要素とこぎ摘み力の分力の要素について検討した。

まず、こぎ摘みロールと茶茎とが接する位置で生じる摩擦要素について「かみ込み」の生じない条件を理論解析から明らかにした。これは、こぎ摘みロールに加工したらせん溝のリード角 α と茶茎の誘導姿勢の変化から生じるたわみ角 γ のそれぞれを考慮した解析で、茶茎とこぎ摘みロールとの摩擦係数 μ とかみ込みを生じないこぎ摘みロールの最大径との関係を表すものである。その関係を用いて最大径を求めるために、摩擦係数 μ を実測する実験装置を開発し、 $\mu = 0.58 \sim 0.68$ （品種：ゆたかみどり）を得た。これから、かみ込み

を生じないこぎ摘みロールの最大径は、茶茎の直径が $d = 2\text{mm}$ の時、約 10mm 以下になることがわかった。

一方、茶茎をかみ込む方向に押す力であるこぎ摘み力の分力の要素について次の2種類の実験を行った。

茶茎切断実験は、らせん溝のリード角が $\alpha = 0^\circ$ のこぎ摘みロール断面模型に、こぎ摘み力の分力と同じ方向に作用する力を作用させて茶茎をかみ込ませ、茶茎を強制的に切断する実験である。この実験の結果、茶茎の切断は、こぎ摘み力の分力の要素やらせん溝縁の形状等によって発生することがわかった。また、こぎ摘みロールにおける切断位置の検出実験では、供試する茶芽の茶葉の有無によってこぎ摘み力の発生と抑制を行い、その時の切断状況の違いを観察した。その結果、こぎ摘み力は、茶芽の切断を誘発する要素であることがわかった。なお、こぎ摘みロールにおける茶芽の切断は、先端部のらせん山が鋭角に加工された位置で多く見られ、この位置での切断の発生を抑えるこぎ摘みロールの改良が必要であることを明らかにした。

第IV章では、第II章で試作したこぎ摘みユニットの性能を摘採生葉の品質面で検討するため、本機構と市販の摘採機構から得られる生葉の性状の違いを調べた。その結果、本機構による摘採生葉では、市販の摘採機構に比べて、正常芽や切れ葉の割合が多く、木質茎等の混入の少ない選択的摘採の状況を示した。切れ葉は、本機構の機構上発生するものであるため、今後、検討する必要がある。また、摘採生葉を製茶した際の官能審査では、市販摘採機構のものより同等かそれ以上の評価を得た。

以上のように、本研究では、こぎ摘みロール機構を合理的に設計する上で必要な基礎資料を得るとともに、本機構を使用する上で問題となった茶芽の切断について、その発生に関係する要素の理論解析、また、切断を誘引する要素を実験的に明らかにした。これから、茶芽の切断がこぎ摘みロールの先端方向で生じ易いことを理論的、かつ実験的に裏付け、茶芽の切断を生じないこぎ摘みロールの設計要素を得ることができた。

今後、これらの知見を用いて、こぎ摘みロールの形状、および材質等を考慮した本機構の改良を行い、より品質の高い生葉を得ることができる摘採機構の開発を検討する必要がある。

謝 辞

本研究の遂行とまとめにあたり、終始ご懇篤なご指導とご校閲を頂いた宮崎大学農学部岡田芳一教授に心より感謝の意を表します。また、有益なご助言とご激励を頂いた同永田雅輝教授、および佐賀大学農学部加来研教授に深厚なる謝意を表します。さらに、宮崎大学農学部石川勝美助教授には、論文の作成、実験の遂行等の研究全般にわたり、碎身のご指導をいただきました。ここに心より感謝の意を表します。

本研究で述べた実験や資料の整理等では、宮崎大学農学部農業機械学研究室の専攻生の協力をいただき、ここにお礼申し上げます。また、実験を遂行するにあたり、宮崎県総合農業試験場茶業支場上野貞一支場長をはじめとする同支場の職員の方々には、供試茶芽、および圃場についてご協力をいただき、さらに官能審査等で積極的なご指導と有益なご助言をいただきました。ここに心から厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中川健治：茶摘機の設計要素に関する研究，三重大学農学部学術報告，(29)，121-153，1964
- 2) 中川健治，堀部和雄，小坂秀人，近藤一行，村上邦夫：茶葉摘採機の刈刃位置自動制御（第1報），農機誌，41(2)，257-261，1979.
- 3) 中川健治，小坂秀人，近藤一行：茶葉摘採機の刈刃位置自動制御（第2報），農機誌，41(3)，429-433，1979.
- 4) 中川健治，小中俊雄，小坂秀人：茶葉摘採機の刈刃位置自動制御（第3報），農機誌，41(4)，581-585，1980.
- 5) 中川健治，中野不二雄，堀部和雄，大下誠一，近藤一行：茶葉摘採機の刈刃位置自動制御（第4報），農機誌，42(1)，85-89，1980.
- 6) 久能喜祿，中野不二雄，滝谷洋，鈴木勝弘：摘採の機械化に関する研究，茶業試験場報告，(11)，1975.
- 7) 新農林社：農機新聞，1989/8/1付
- 8) 岩倉勉，田中敏弘，山中浩文，嶽崎亮，松山康甫：一うね形乗用茶摘採機の性能について，茶業研究報告発表要旨，47，1988
- 9) 新農林社：農機新聞，1990/10/16付
- 10) 大石貞男：改訂・茶の生育診断と栽培，農山漁村文化協会，85-88，1986
- 11) 佐藤純一，中川健治：茶葉選択摘採機の開発研究（Ⅰ），三重大学農学部学術報告，(45)，135-163，1973
- 12) 中川健治，大石憲裕，江崎修司：茶葉選択摘採機の開発研究（Ⅱ），三重大学農学部学術報告，(47)，353-363，1974
- 13) 岡田芳一，永田雅輝，石川勝美，槐島芳徳：茶葉摘採機の開発に関する

る研究（第1報），農機誌投稿中

14)岡田芳一，永田雅輝，石川勝美：茶葉摘採機の開発研究（第3報），農機学会第39回年次大会講演要旨，96，1980

15)岡田芳一，富永祐市，堀本義一，服部福良：茶葉の扱取り機構に関する研究，農機学会第35回年次大会講演要旨，94，1976

16)槐島芳徳：茶葉摘採機の開発に関する研究，宮崎大学大学院農学研究科修士論文，1988

17)槐島芳徳，岡田芳一，永田雅輝，石川勝美：茶葉摘採機の開発に関する研究（第2報），農機誌投稿中

18)宮崎県総合農業試験場茶業支場：茶栽培加工試験成績書，3-7，1978

19)Jun Sakai, Moses Frank Odouri, Eiji Inoue: RESEARCH ON THE HARVESTER REEL MECHANISM, 農機学会九州支部誌, 40, 19-23, 1991

20)Jun Sakai, Eiji Inoue, Moses Frank Odouri: RESEARCH ON THE HARVESTER REEL MECHANISM I, 第50回農業機械学会年次大会講演要旨, 153-154, 1991

21)Jun Sakai, Eiji Inoue, Moses Frank Odouri: RESEARCH ON THE HARVESTER REEL MECHANISM II, 第50回農業機械学会年次大会講演要旨, 155-156, 1991

22)Jun Sakai, Eiji Inoue, Moses Frank Odouri: RESEARCH ON THE HARVESTER REEL MECHANISM III, 第51回農業機械学会年次大会講演要旨, 137-138, 1992

23)高根芳雄，柳井晴夫：新版多変量解析法，朝倉書店，1-65，1985

24)岸根卓郎：理論応用統計学，養賢堂，487-488，1986

25)桑原 夫，佐藤哲哉：茶葉の熟度に関する研究（第2報），東海近畿農

業試験場研究報告茶業部, 7, 120,

26) 田中豊: パソコン実験計画法入門, 現代数学社, 55-71, 1985

27) 磯部邦夫: 実験計画法入門 解析の手順, 日刊工業新聞社, 213-224, 1974.

28) 槐島芳徳, 岡田芳一, 永田雅輝, 石川勝美: 茶葉摘採機の開発に関する研究(第4報), 農機誌投稿中

29) 藺村光雄, 川村登: 初摺ロールの脱ぶ作用に関する研究(第1報)- 脱ぶ作用の解析 -, 農機誌, 22(1), 21-24, 1960

30) H. D. Buhn: Status of Hey Crusher Development, Agricultural Engineering, March, 165-170, 1955

31) 日本数学会編集: 数学辞典第3版, 岩波書店, 1351, 1987

32) 山本哲朗: 数値解析入門, サイエンス社, 14-16, 1990

33) 天野明夫: パソコンで学ぶ数学解析, 森北出版, 66-67, 1990

34) 坂口一彦: 摩擦・摩耗試験方法の現状, 機械の研究, 43(2), 233-238

35) 南茂夫: 科学計測のための波形データ処理, C Q 出版社, 102-105, 1987

36) 物理教材研究会編: 物理計測システム実用設計, C Q 出版社, 115-189, 1989

37) Gy. Sitkei: Mechanis of Agricultural Materials, Elsevier, 439-457, 1986

38) 槐島芳徳, 岡田芳一, 永田雅輝, 石川勝美: 茶葉摘採機の開発に関する研究(第3報), 農機誌投稿中

39) 茶関係問題別研究会: チャの栽培試験研究における調査法と用語の扱い(改訂版), 茶業研究報告, 64, 55-80, 1986

40)村松敬一郎編：茶の科学，朝倉書店，19-21，1991

41)大石貞男：改訂・茶の生育診断と栽培，農山漁村文化協会，14-23，1986

42)中川健治：茶摘機の設計要素に関する研究，三重大学農学部学術報告，29，127-128，1964

43)松山康甫，松久保哲矢，中村憲夫，岡本信義，原之園親男，吉田徳重，嶽崎亮，藤嶋哲男，岡村克郎，泊純：乗用茶園作業機とその栽培体系に関する研究，鹿児島県茶業試験場報告，1，12，1985

44)宮崎県総合農業試験場茶業支場：技術組立試験成績書，36，1977