



工具カタログデータベースの データマイニングに基づく プリント基板穴あけ加工条件についての考察

同志社大学大学院 理工学研究科
生産システムデザイン研究室
田端 章吾





電子機器の小型化・高機能化

1985



H190 × W55 × L220(mm)
Weight 3000(g)

1987



H175 × W42 × L92(mm)
Weight 900(g)

2008



H106 × W51 × L19(mm)
Weight 132(g)

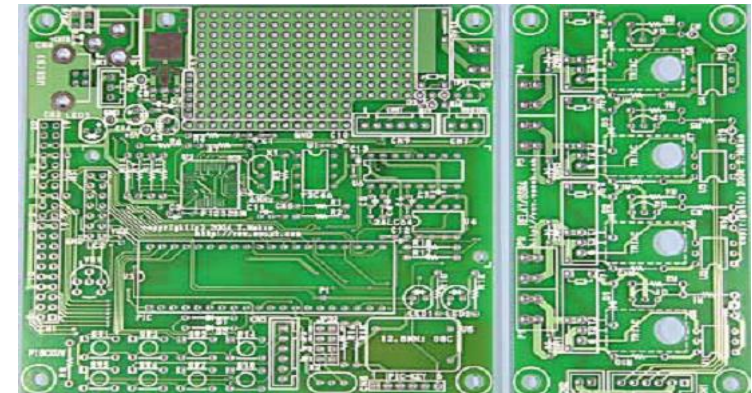
現在



H115.5 × W62.1 × L192.3mm
Weight 133(g)



プリント基板の多層化
加工穴の高密度化, 小径化



Printed Circuit Board (PCB)



課題

加工穴の高密度化, 小径化に伴い
穴あけ加工条件設定の難化



加工条件を決定する熟練技術者の知識や経験は
暗黙知である場合が多く, 形式認知が必要



公開されている知識やデータを活用して
使用工具や切削条件を決定する必要がある

工具カタログは加工に
関する情報が多く
豊富で良質なデータベース



➡ **工具カタログにデータマイニング手法を適用**
(カタログマイニングと称する)

カタログマイニングによって
穴あけ加工に役立つ新しい知識の発見を目指す

データベース

国内大手プリント基板用ドリルメーカーA社, B社のカタログ(全4879個)

Type of variables	Parameter	Variable	Missing value
Quantitative	Drills	Diameter D (0.05~6.5 mm)	0
		Flute length l (0.8~12.0 mm)	0
	Boards	Board thickness Bt	133
		Layer Number LN	133
	Drilling conditions	Spindle speed S	5
		Feed speed F	5
		Velocity V	5
		Chip load $C(=F/S)$	5
		Stack height Sh	133
	Qualitative	Drill types	Straight ST or Undercut UC
Drill Characteristics		Hole wall Hw or Hole position Hp or Both of them Hpw	1590

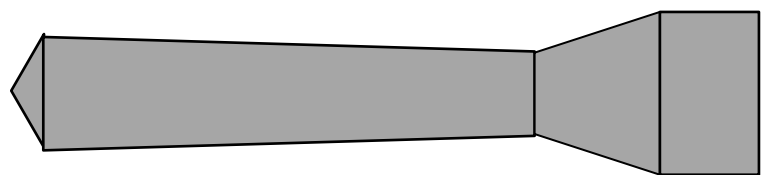
ドリルと基板に関する変数



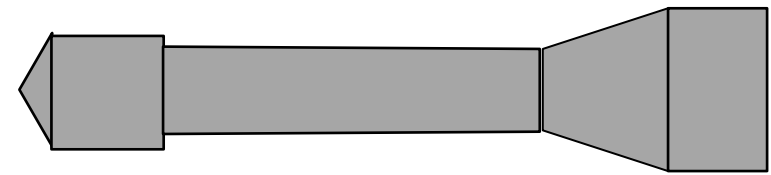
ドリル



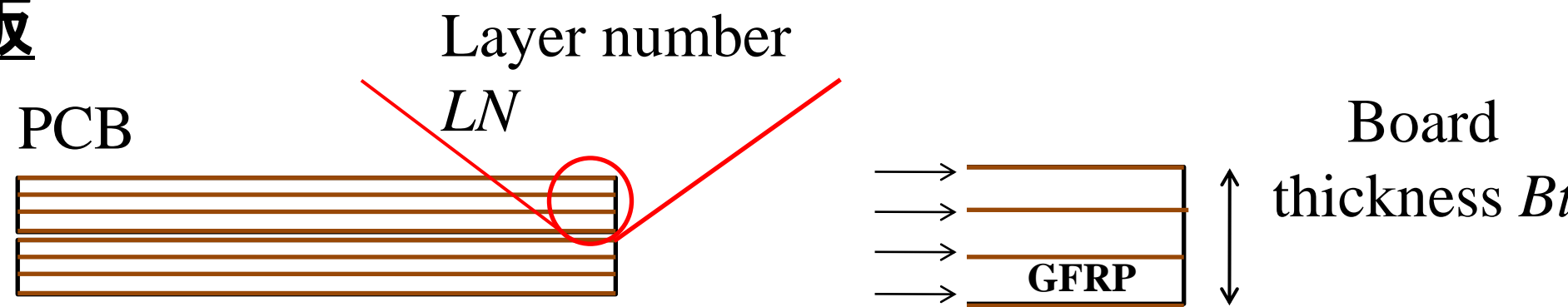
• Straight ST



• Undercut UC



基板



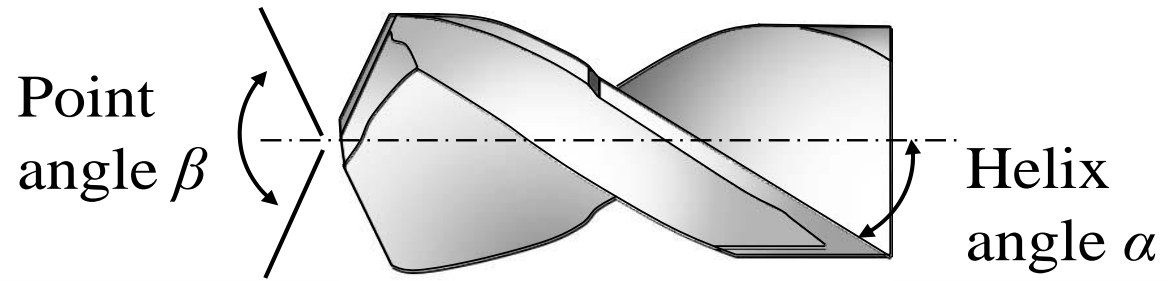
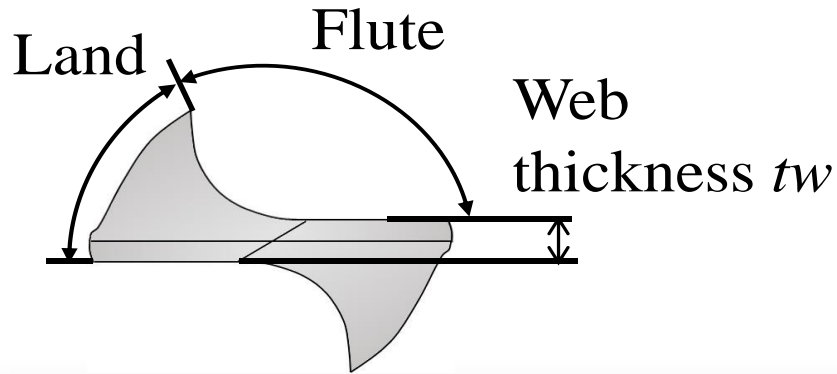


追加した変数

《心厚 tw , 溝幅比 γ , ねじれ角 α , 先端角 β 》

カタログに記載されていないが重要な変数
⇒ 工具の写真から計測し、追加した

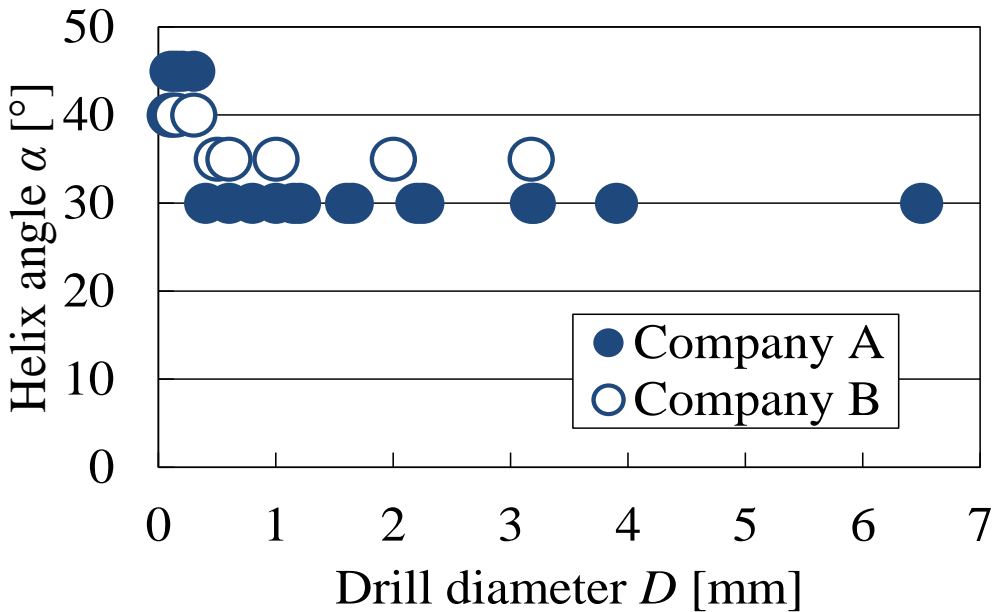
Type of variables	Parameter	Variable	Missing value
Quantitative	Drills	Web thickness tw	2711
		Helix angle α	2601
		Point angle β	2711
		Groove width ratio γ	2711



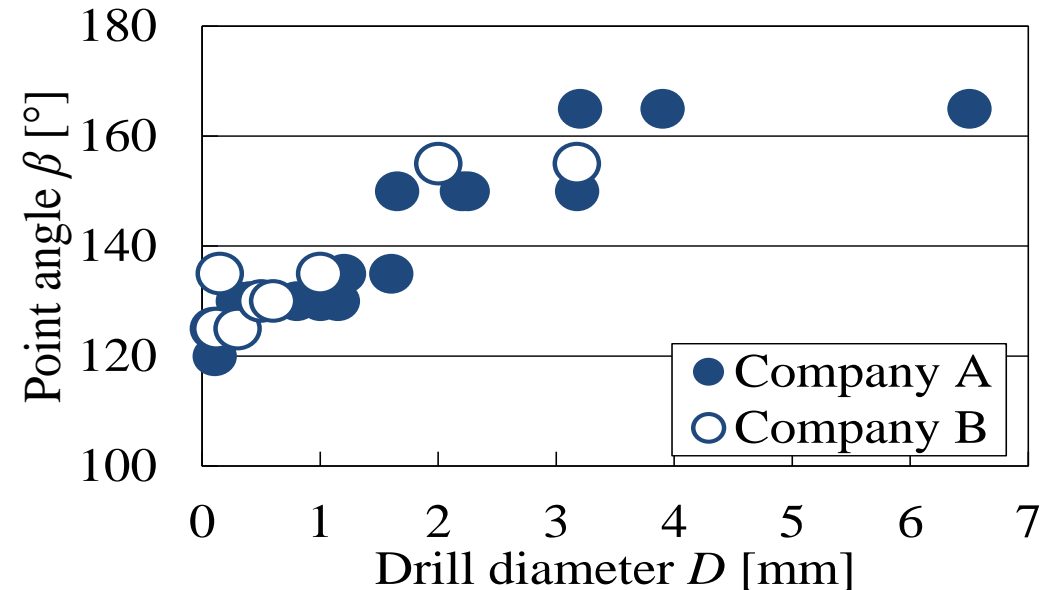
追加した変数



・ねじれ角 α



・先端角 β



ねじれ角: 2社とも2種類ずつしか値がなく
外径0.3 mmを境に変化している

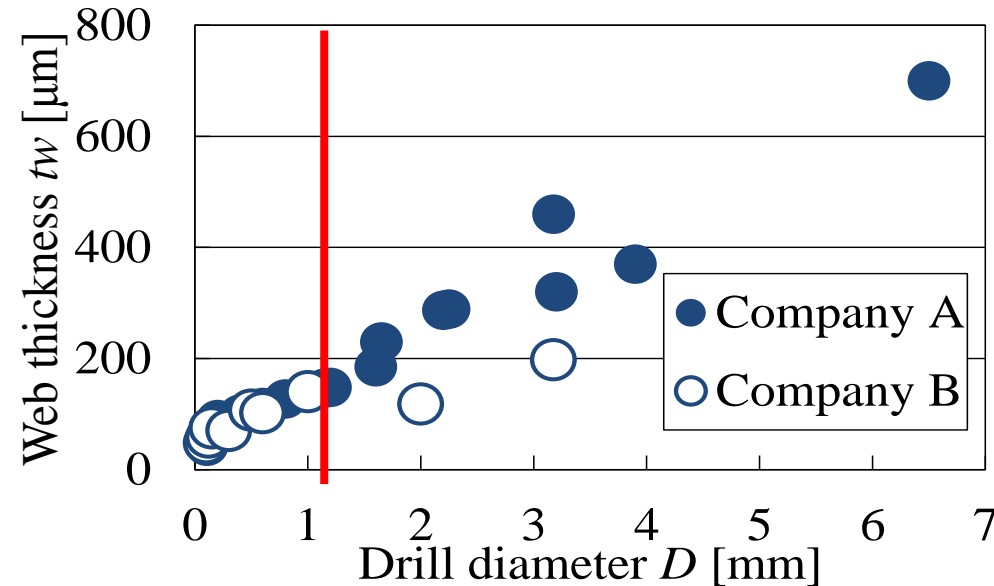
先端角: 両社とも外径に対して増加しているが
段階的に変化している



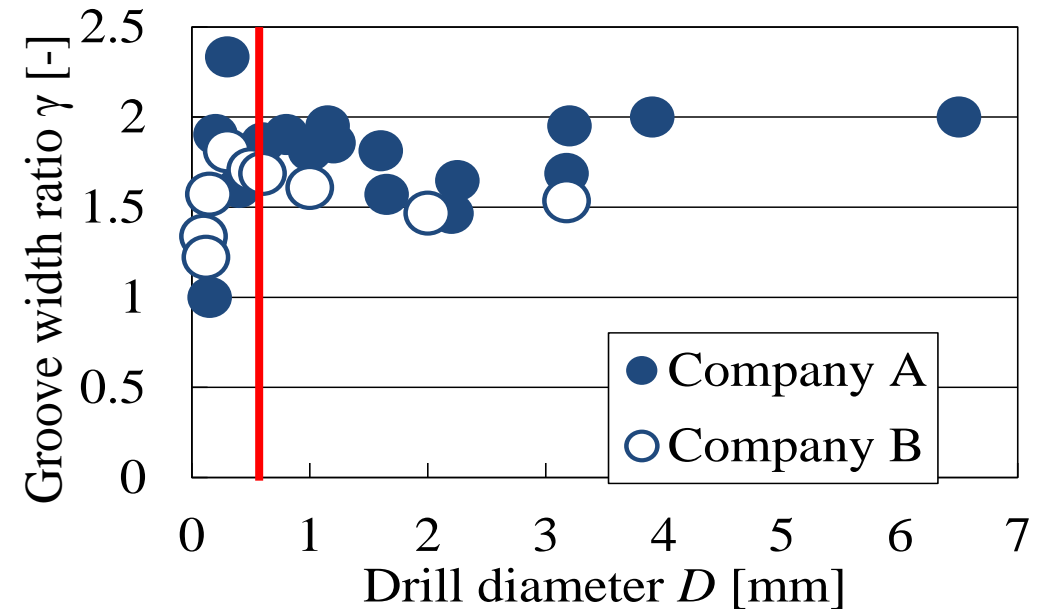
追加した変数



• 心厚 t_w



• 溝幅比 γ



心厚：外径 1.0 mm を境に 2 社の心厚の設計は異なり

2.0 mm 以上のドリルでは A 社が B 社の 2 倍である

溝幅比：両社とも外径 0.3 mm 付近で最大値を迎え

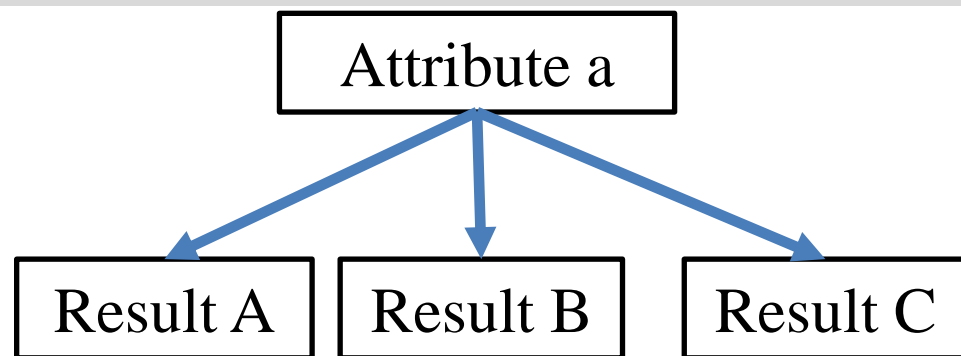
シャンク径と等しい外径 3.175 mm まで減少



決定木



決定木は質的変数と量的変数を扱うことが可能で、エントロピー（平均情報量）の差（ $= I_a - I_{ABC}$ ）を使用して木を決定する。



エントロピーの差であるゲインは分類に必要な情報の減少量であるので、最もゲインが大きくなる節を選ぶ。

$$I_a(P_1, \dots, P_m) = \sum_{i=1}^m P_i \log_2 \frac{1}{P_i} = - \sum_{i=1}^m P_i \log_2 P_i$$

$$I_{ABC}(P_1, \dots, P_m) = \frac{n_A}{n} \sum_{i=1}^m P_i \log_2 \frac{1}{P_i} + \frac{n_B}{n} \sum_{i=1}^m P_i \log_2 \frac{1}{P_i} + \frac{n_C}{n} \sum_{i=1}^m P_i \log_2 \frac{1}{P_i}$$

i は分類されたクラスで P_i は n 個のデータが i に分類される確立である。
また、 m はクラスの数、 n_A, n_B, n_C は A, B, C に分類されデータ数である。





アソシエーション分析

事象間のつながりの強さに関する規則を
知識として発見する分析

[例]『紙おむつを買う人はビールを買う』という分析結果
→同じ売り場に隣接させた所、売上が向上

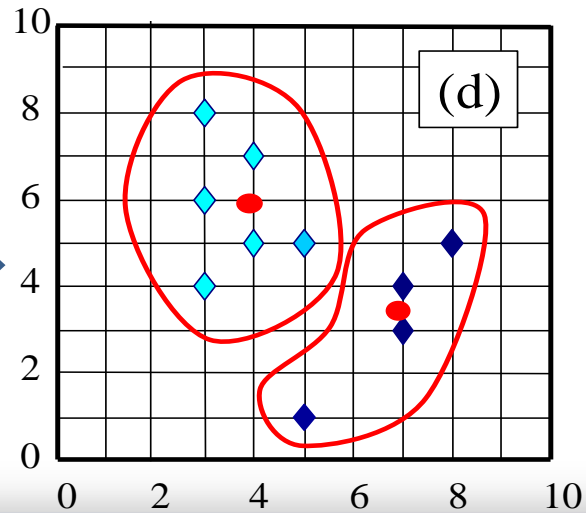
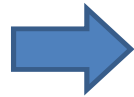
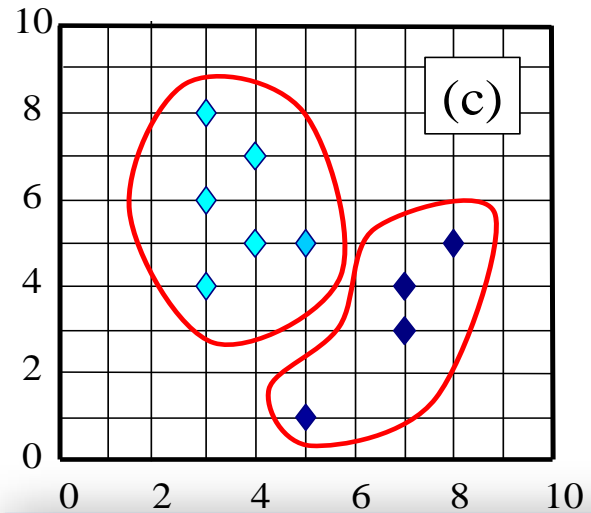
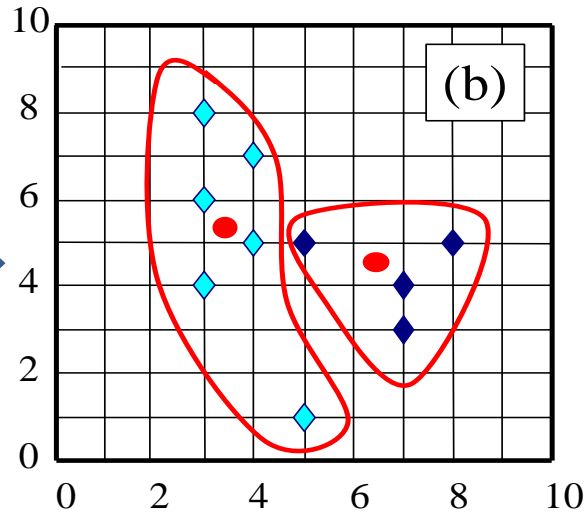
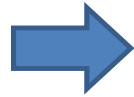
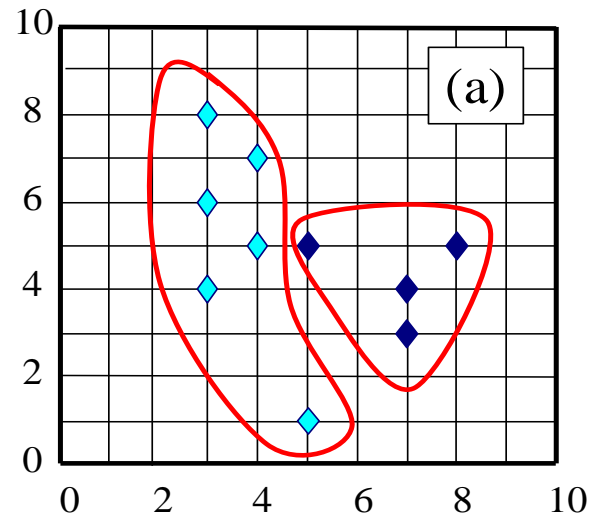
《前提(Left Hand Side:*LHS*):紙おむつ
⇒ 結論(Right Hand Side:*RHS*):ビール》

※離散化处理

量的変数をいくつかのグループに分け, 各グループを
質的変数として扱う



K-means法



- (a) ランダムにクラスタが割り振られる
- (b) 各クラスタで重心 V を求める
- (c) マンハッタン距離が最も短いクラスタに各点 x を所属させる
- (d) 重心を計算しなおし、重心の移動がなくなれば終了

マンハッタン距離

$$d(x, V) = \sum_{i,j=1}^n |x_i - V_j|$$





データ解析には以下のソフトを使用した

Visual Mining Studio Ver8.2 (NTT数理データシステム)

- 決定木分析
- クラスアソシエーション
- ルールベース予測
- K-means法

EXCEL多変量解析 Ver7.0 (株式会社エスミ)

- 変数クラスタ分析



相関係数

$$r(p, q) = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})(q_i - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}}$$

変数間の距離

$$D_{pq}^2 = 2(1 - r(p, q))$$

合併後の距離

$$D_{ko}^2 = \frac{(m_p + m_o)D_{po}^2 + (m_q + m_o)D_{qo}^2 - m_o D_{pq}^2}{m_k + m_o}$$

C_o : Centroid of cluster o

C_p : Centroid of cluster p

C_q : Centroid of cluster q

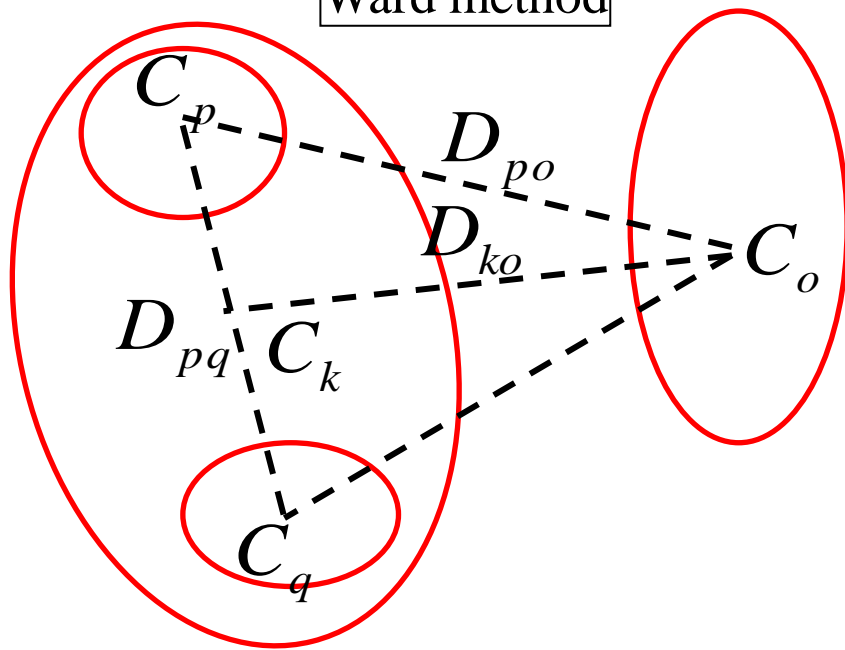
C_k : Centroid of cluster k

D_{po} : Distance between cluster p and o

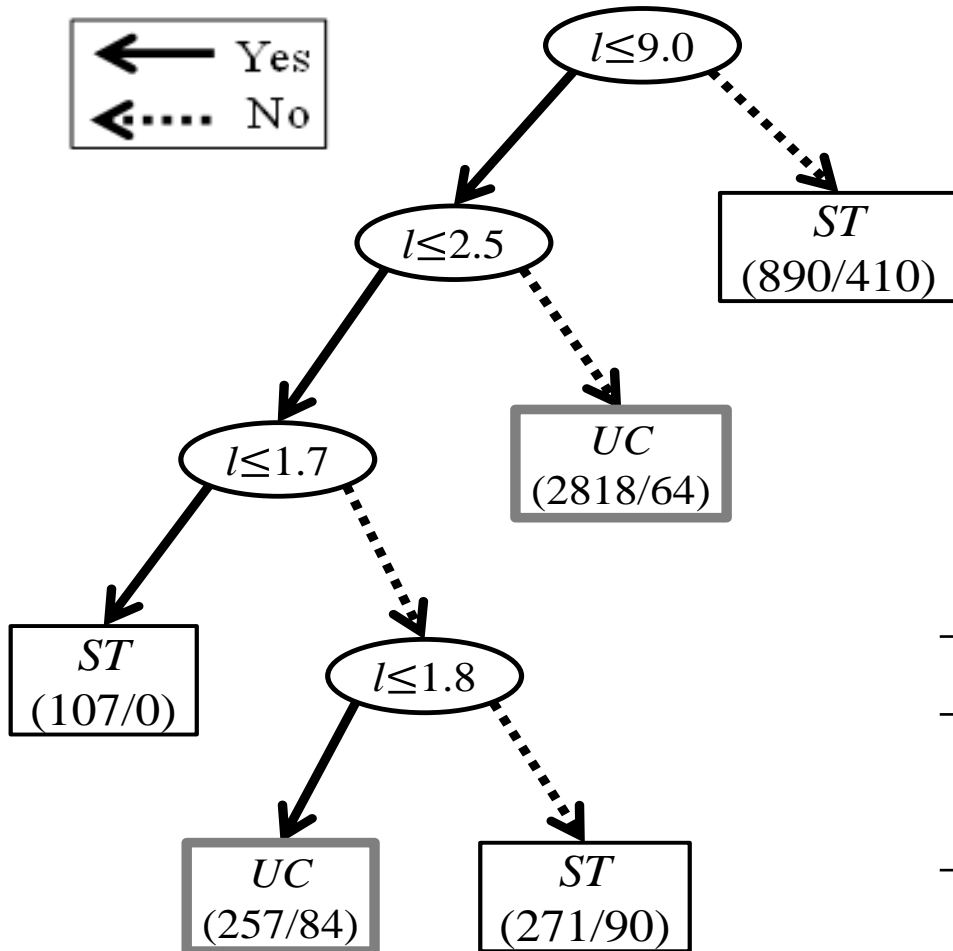
D_{ko} : Distance between cluster k and o

D_{qo} : Distance between cluster q and o

Ward method



決定木分析の結果(ドリルの種類)



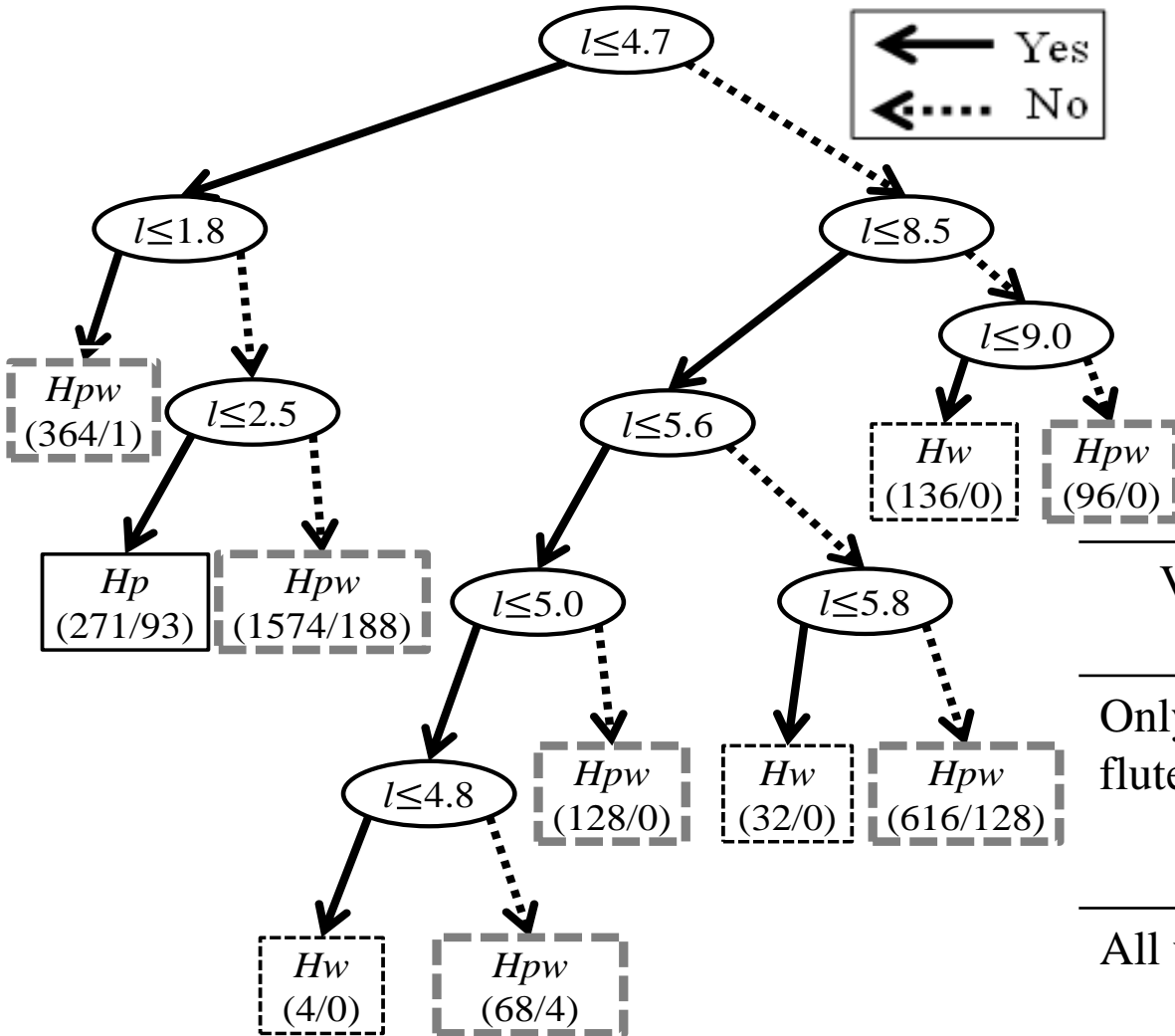
- 極小径ドリルはSTドリルであるが剛性が必要なためである
- 全長 $L = 38.1$ mm に規格化されているため, $l > 9$ の大径ドリルでは l に違いがなく判別できていない

約80%のドリルは刃長 l のみでSTであるかUCであるかを区別できた

Variable	Drill type	Correct/incorrect
Only flute length l	ST	725/191
	UC	2958/469
All variables	ST	743/173
	UC	3036/391



決定木分析の結果 (ドリルの特徴)



- 外径が最も小さなドリルは *Hpw* か *Hp* である
- ドリルの種類と異なり、どの径のドリルもほぼ正しく分類できた

Variable	Drill design	Correct/incorrect
Only flute length l	<i>Hw</i>	205/100
	<i>Hp</i>	133/234
	<i>Hpw</i>	2504/113
All variables	<i>Hw</i>	253/52
	<i>Hp</i>	139/228
	<i>Hpw</i>	2512/105

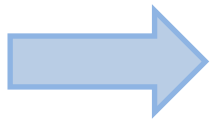


クラスアソシエーションの結果

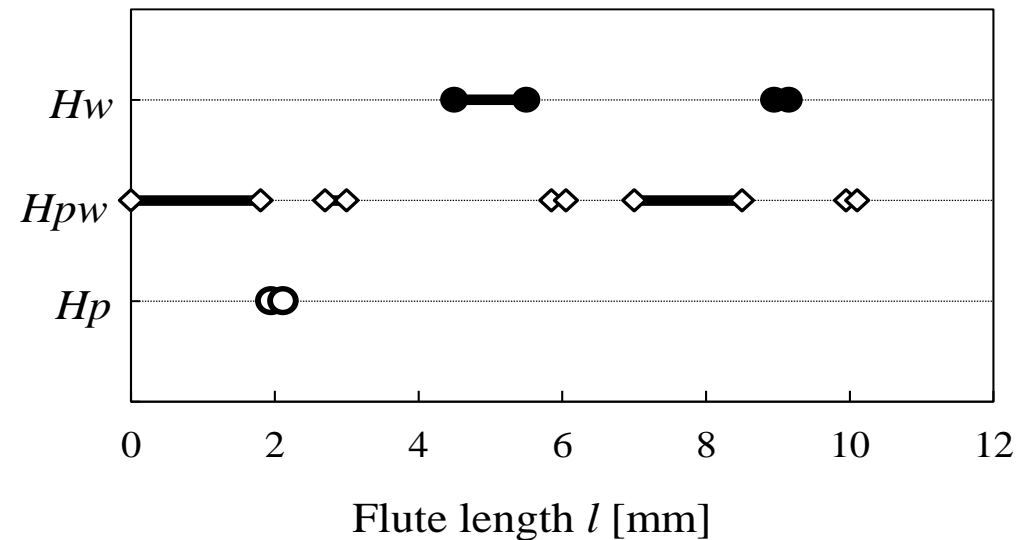
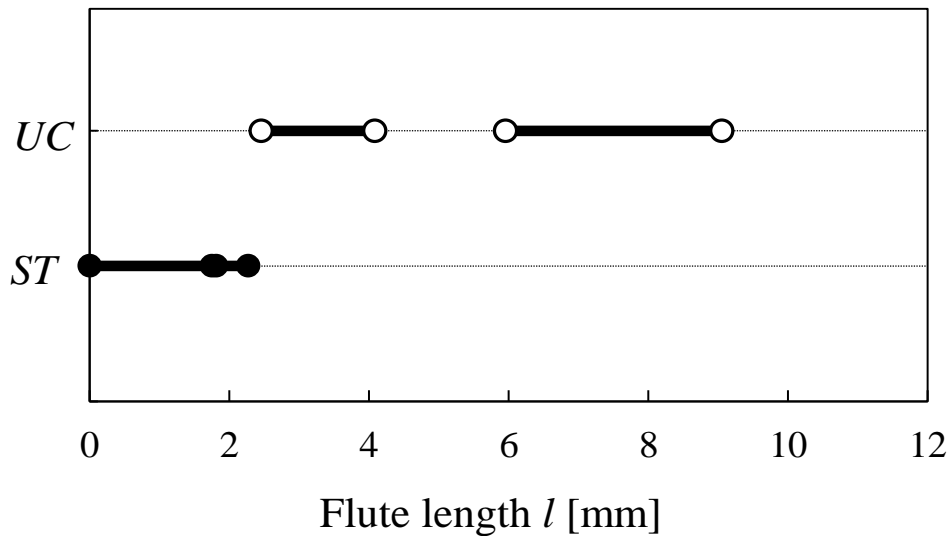


量的変数をLHSに, 質的変数をRHSに設定して分析

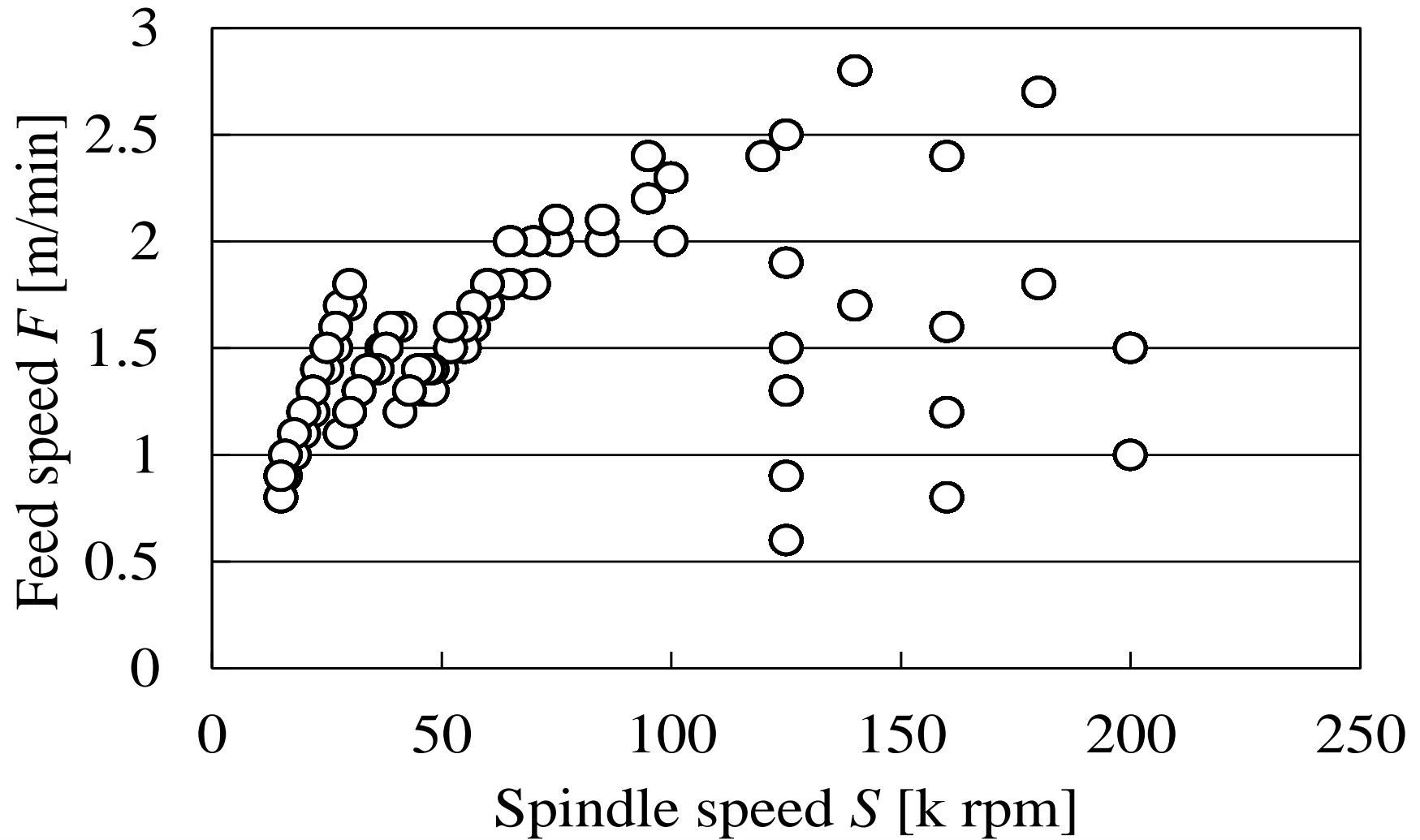
⇒ドリルの種類 (ST , UC), ドリルの特徴 (H_p , H_w , H_{pw})
ともに発見された全てのルールが, 刃長 l に関するもの



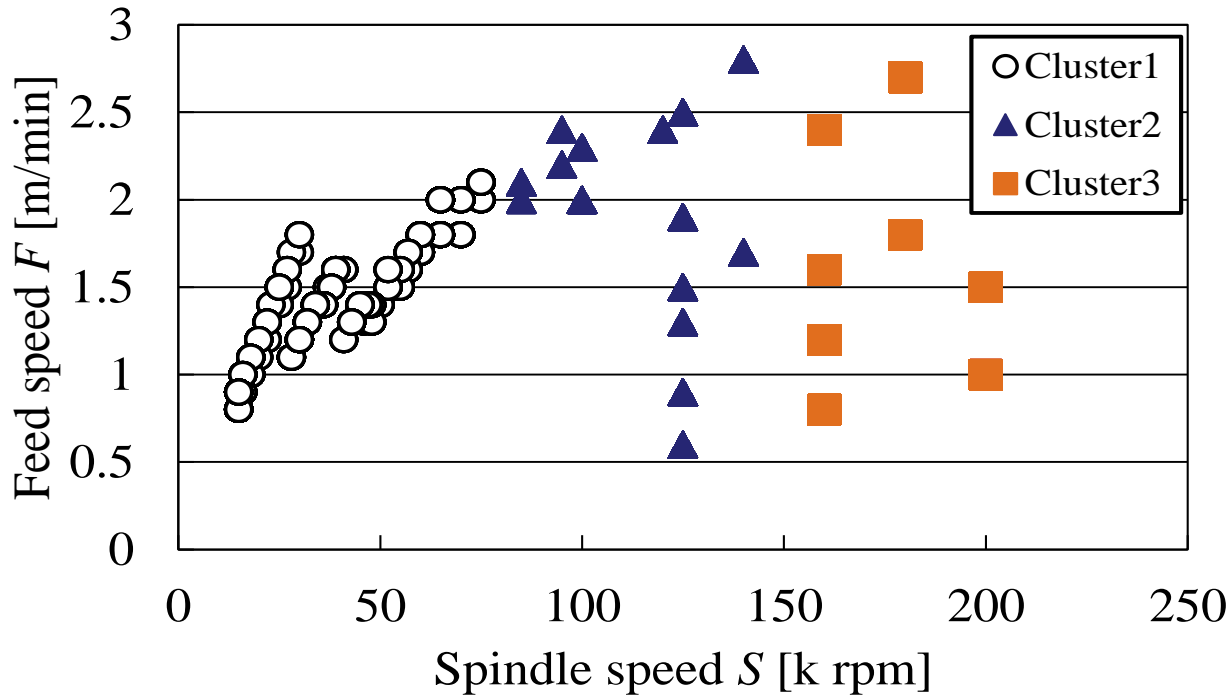
質的変数は, 刃長 l によって判別できる



切削条件の関係



K-means法



	Diameter D [mm]
Cluster1	0.45 ~ 3.175
Cluster2	0.105 ~ 0.40
Cluster3	0.05 ~ 0.20

Cluster1

⇒ 外径0.45以上, S, F に関係性が見られる

Cluster2, 3

⇒ 外径0.40以下, S, F に関係性が見られない

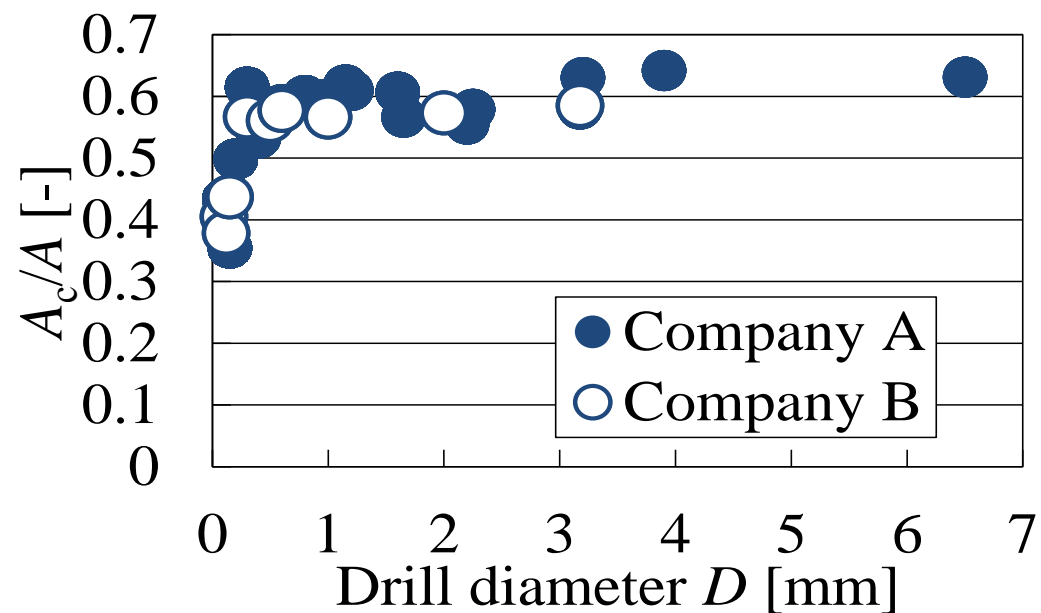
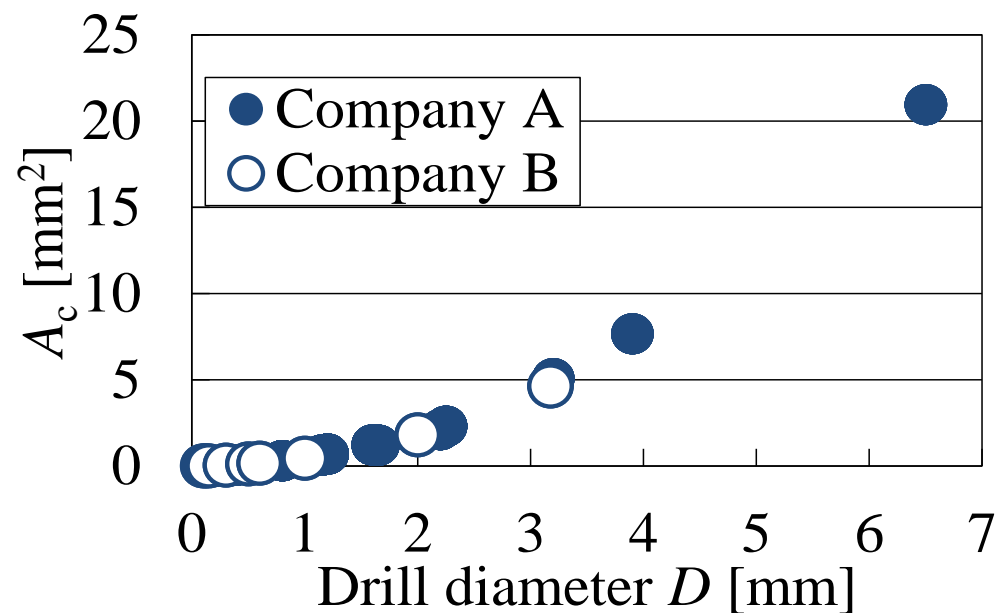


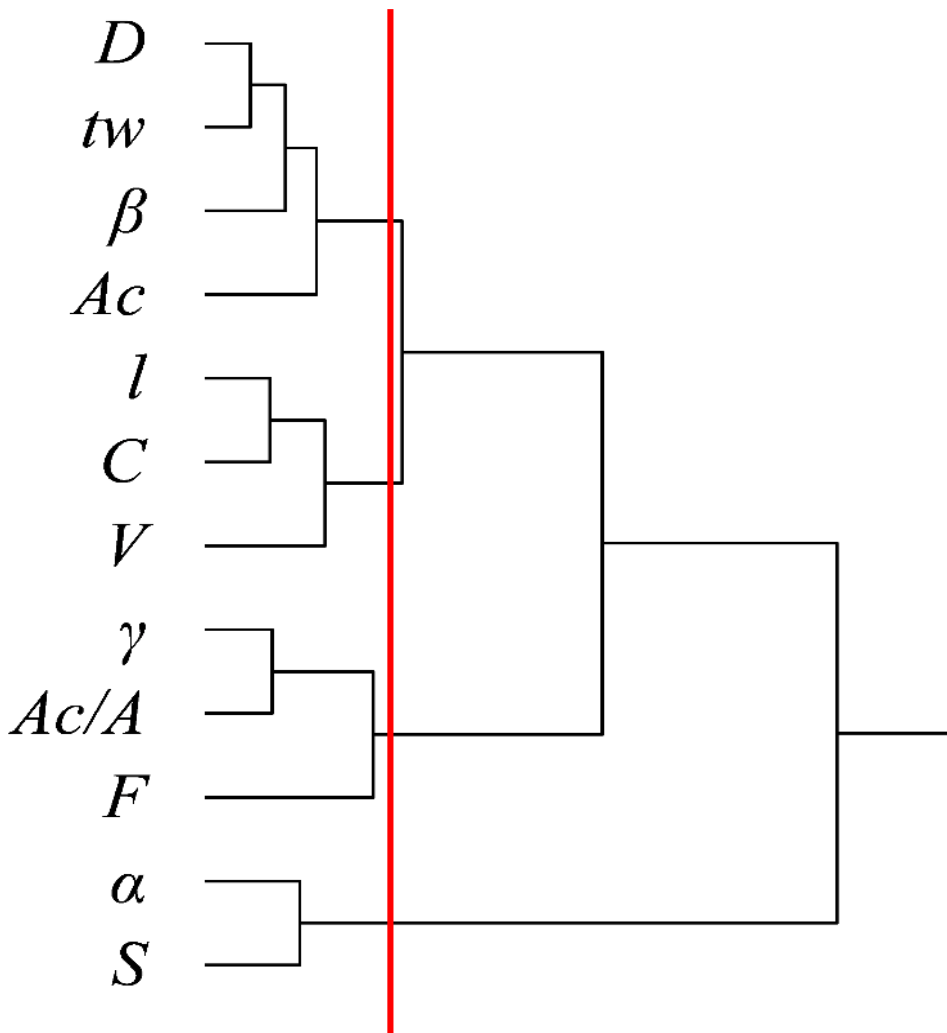
チップポケットの断面積



ドリル先端の形状から、チップポケットの断面積を近似した

$$A_c = \frac{\pi}{4} D^2 - \left(\frac{Dtw}{2} + \frac{\pi}{2} D^2 \frac{\frac{\pi}{1+\gamma} - \tan^{-1} \frac{tw}{D}}{\pi} \right), \quad A = \frac{\pi}{4} D^2$$



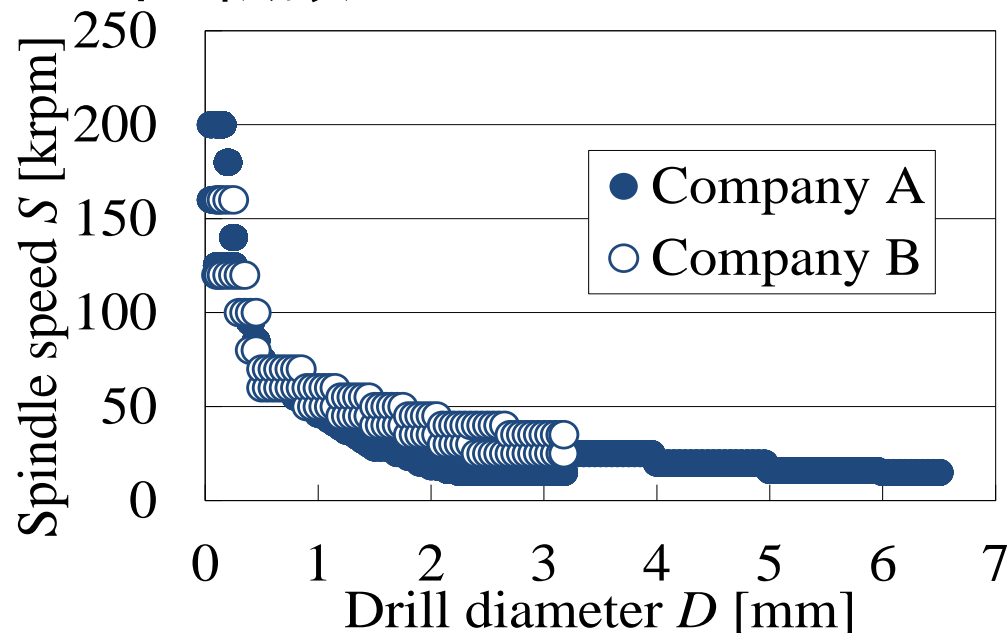


- ① 外径にほぼ比例する tw , β
外径の2乗に比例する A_c
- ② チップロード C と刃長 l
正の相関がある
- ③ 送り速度には溝幅比 γ と
 A_c/A が関係する
- ④ 外径に対し負の相関のある
ねじれ角 α , 回転数 S

推奨加工条件について



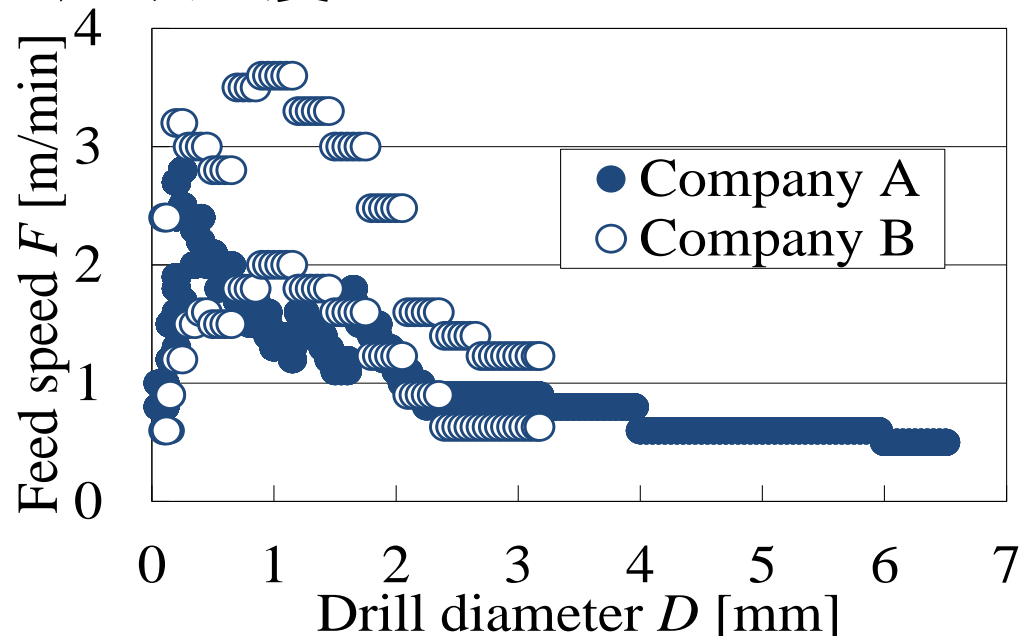
・回転数



外径に反比例している

⇒切削速度調整のため

・送り速度



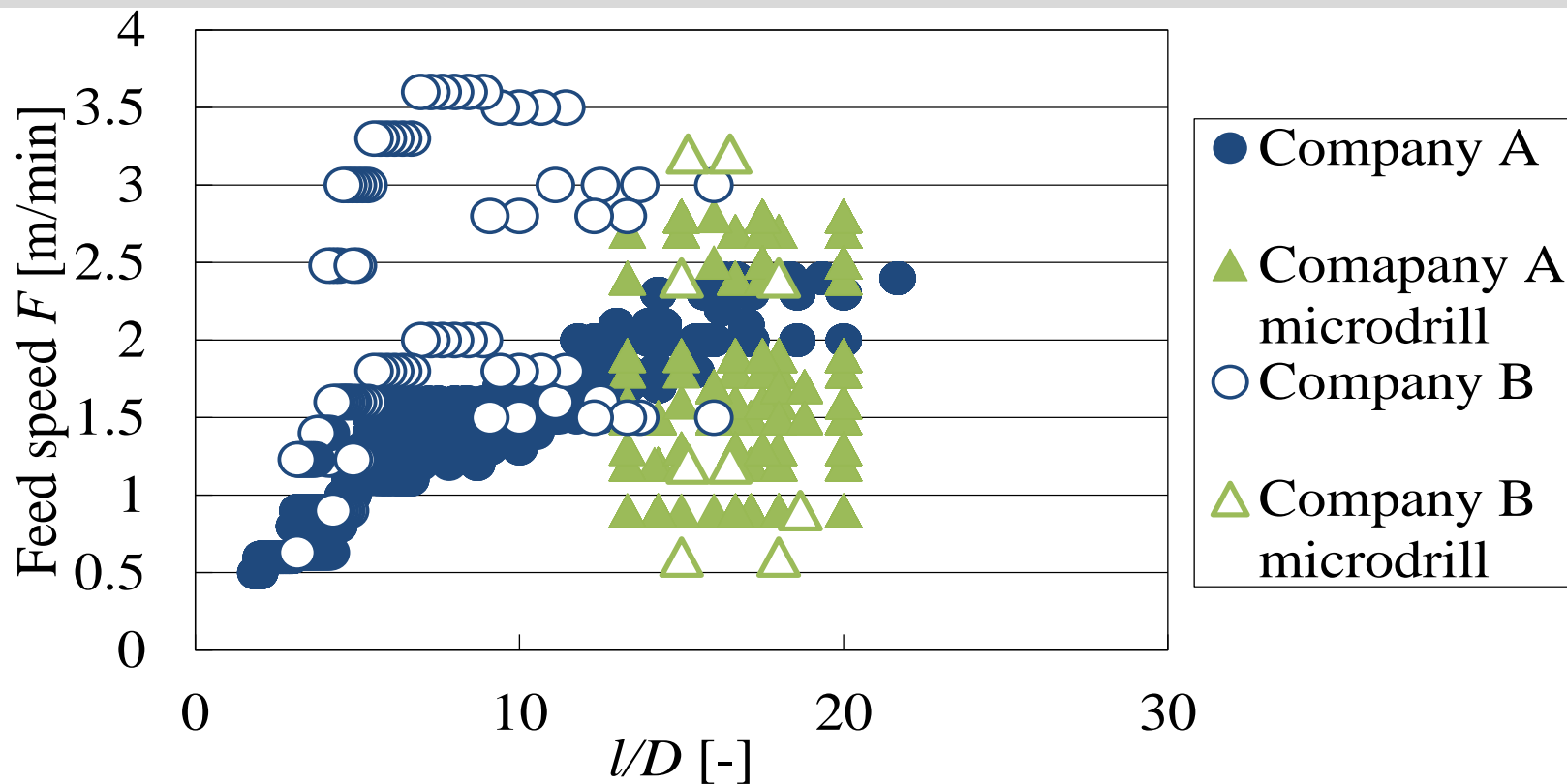
A社は外径0.3 mm
B社は0.3 mmと1.0 mm } で最大値

心厚や溝幅比の傾向と一致

⇒送り速度の上昇は工具の剛性によるものである



推奨加工条件について



- ・極小径(外径0.3 mm未満)のドリルを除いて, A社の推奨送り速度は l/D に比例する
- ・0.3~1.0 mmのB社のドリルは心厚が小さく, 切削抵抗が抑えられるため高送りになっている.



- (1) プリント基板用工具カタログに記載されている質的変数はドリル刃長との関連が深いいため、ドリル刃長は工具の選定の目安とすることができる
- (2) 階層型クラスタリングの結果より、カタログ上に記載されている送り速度は加工する穴の断面積に対するチップポケットの比や工具の溝幅比と同じ傾向を示す
- (3) 推奨条件での送り速度は外径に対して増加し、0.3 mmを境に減少するが、これは剛性を考慮したためである。
また、送り速度の減少は切削抵抗を考慮したものである
- (4) 外径が0.3 mm以上のマイクロドリルでは刃長に対する外径の比とカタログ上での推奨条件の送り速度が比例関係にあるため刃長と外径の比から加工条件を決定すると良い