

題 目 上顎第一小臼歯の運動の6自由度測定と解析

著 者 薩摩登誉子

内容要旨(和文1, 500字)

顎口腔系の喪失した形態および機能を回復することは歯学における重要な課題の一つであり、有歯顎者に与えるべき咬合面は顎運動と調和した形態であるとともに、円滑に機能を営むものでなければならぬ。顎口腔機能に調和した理想的な咬合面形態を設計するためには、従来行われている顎運動解析とともに、個々の歯の運動についても6自由度で解析する必要がある。本研究では上顎第一小臼歯の歯の運動測定、解析を行うとともに、顎運動との関係についても検討を加えることを目的とした。

測定には6個の一次コイルと3個の二次コイルからなる磁気空間を応用した高分解能6自由度運動測定器を製作して用いた。二次コイルは歯の運動、顎運動を検出するため合計4組使用した。顎口腔系に異常を認めない成人男性3名の上顎右側第一小臼歯を被験歯、上顎左側第一小臼歯を参照歯として、咬合力計を介在させたときの咬みしめと咬頭嵌合位における強度咬みしめについて測定を行った。

歯の運動測定用二次コイルは顎運動測定用二次コイル同様に原点が可及的に一致するような構成とし、大きさは9.5mmの立方体、重量はリード線、コネクタを含めて2.3gであった。測定器の精度は平行移動量分解能 $1.3\mu\text{m}$ 、回転運動量分解能 0.00017° であった。

被験歯頬側咬頭に咬合力負荷を加えたとき、被験歯の6自由度運動量は1例について示すと、 $x:84\mu\text{m}$ 、 $y:-71\mu\text{m}$ 、 $z:99\mu\text{m}$ 、 $\theta x:-0.582^\circ$ 、 $\theta y:-0.341^\circ$ 、 $\theta z:0.038^\circ$ であり、歯は近心頬側歯根方向に $148\mu\text{m}$ 移動していた。このときの咬合力は19.3kgf(189.3N)、測定開始時の開口量は18.8mmであった。咬合力負荷時に下顎切歯点部は前方へ $20\mu\text{m}$ 、右側へ $322\mu\text{m}$ 、下方へ $118\mu\text{m}$ 運動していた。他の2名の被験者についてもほぼ同様の結果が得られた。力を受けたときの歯の動きやすさを示す一つの代表値として「最大咬合力発現時の移動量(D)/最大咬合力(F)」を3名の被験者について計算すると、頬側咬頭咬合力負荷時には $9.6\sim 16.4\mu\text{m}/\text{kgf}$ であった。被験歯舌側咬頭に咬合力を負荷したときD/Fは口蓋側歯根方向に $3.0\sim 8.5\mu\text{m}/\text{kgf}$ 、被験歯咬合面中央部に咬合力を負荷したときD/Fは近心歯根方向に $3.8\sim 11.5\mu\text{m}/\text{kgf}$ であった。被験歯の前方歯である上顎右側犬歯の尖頭に咬合力を負荷したとき被験歯の見かけのD/Fは $5.6\sim 22.4\mu\text{m}/\text{kgf}$ で、歯は近心歯根方向に移動していた。

頬側咬頭咬合力負荷時に比べて舌側咬頭や咬合面中央部で咬合したときにはD/Fが小さく、その3方向成分も小さかった。単位咬合力あたりの移動量が小さい方が咬合力負担能力が大きいと考えられること、運動方向については咬合時に歯列を離開する方向へ歯が移動することは食片圧入等の問題を起こす可能性があることから、咬頭嵌合位において上顎第一小臼歯では、舌側咬頭および咬合面中央部には少なくとも咬合接触を与える必要があると考えられる。各咬頭咬合力負荷時の解析点を含む周囲の点について運動を表示すると、運動の収束する点すなわち回転中心が歯の近傍にある場合とない場合があった。咬頭嵌合位において強度咬みしめを行ったときの上顎左右第一小臼歯に装着した二次コイルのコイル間距離は咬みしめにより約 $100\mu\text{m}$ 短縮しており、歯列は左右的距離が減少する傾向にあった。本研究により歯の運動と下顎運動の同時測定が可能となったことで、研究の最終目標である顎運動に調和した咬合面形態の設計に大いに役立つものと期待できる。

論文表題

上顎第一小臼歯の運動の6自由度測定と解析

著者：薩摩登誉子

所属：徳島大学大学院歯学研究科
歯科補綴学第二講座

(指導：坂東永一教授)

論文表題

上顎第一小臼歯の運動の6自由度測定と解析

著者：薩摩登誉子

所属：徳島大学大学院歯学研究科
歯科補綴学第二講座

(指導：坂東永一教授)

上顎第一小臼歯の運動の6自由度測定と解析
Measurement and Analysis of Upper First Premolar Movement
in Six Degrees of Freedom

薩摩登誉子
Toyoko Satsuma

徳島大学大学院歯学研究科
歯科補綴学第二講座
(指導：坂東永一教授)
Department of Fixed Prosthodontics, Graduate School of Dentistry,
The University of Tokushima
(Director : Prof. Eiichi Bando)

英文抄録

Soundness of stomatognathic system can be achieved with functionally adequate occlusal contact. The research of this occlusal morphology requires the analysis of micro tooth movement as well as analysis of jaw movement. The purpose of this research is to study micro upper first premolar movement under several occlusal loading conditions. We modified our jaw tracking device to develop the new motion analyzer in six degrees of freedom that can perform simultaneous measurement of tooth and jaw movements. The results are as follows.

1. The resolution of the recording system was improved up to $1.3 \mu\text{m}$ for translation and 0.00017° for rotation.
2. Three male adult volunteers were selected as the subjects. Movements of right upper first premolars against left upper first premolars of these subjects were measured with this device. Occlusal load was provided perpendicularly on buccal cusp, central fossa, palatal cusp and canine cusp. Directions of tooth movements of these subjects were almost same under same loading conditions.
3. In some loading conditions, the rotation centers of tooth movement were found.

英文キーワード (5word 以内)

tooth movement

six degrees of freedom

magnetic fields

英文抄録に対する和文

顎口腔機能を円滑に営むためには、機能的に望ましい咬合面形態を与える必要があり、そのためには顎運動のみならず歯の運動についても解析しなければならない。本研究の目的は咬合力負荷時の上顎第一小臼歯の歯の運動を数名の被験者で測定、解析することである。

先に開発した高分解能6自由度運動測定器を用いて歯の運動と顎運動との同時測定を行い、以下の結果が得られた。

1. 測定器に改良を加えることで平行移動分解能 $1.3\mu\text{m}$ 、回転運動分解能 0.00017° の精度まで達成できた。

2. 成人男性被験者3名について上顎右側第一小臼歯を被験歯として上顎左側第一小臼歯に対する歯の運動を測定した。咬合力を負荷する部位は被験歯の頬側咬頭、舌側咬頭、咬合面中央部と犬歯尖頭の4部位とし、咬合力負荷部位が同じ場合、被験者間で歯の運動方向はほぼ同じであった。

3. 歯の運動は咬合力を負荷する状態により回転中心がある場合とない場合が認められた。

I. 緒言

顎口腔系の喪失した形態および機能を回復することは歯学における重要な役割の一つである。有歯顎者に与えるべき咬合面は顎運動と調和した形態であって、円滑に機能を営むものでなければならない。鈴木¹⁾は顎運動の6自由度測定、解析を行い、顎間軸モデルを提唱した。美馬²⁾はこの顎間軸モデルを応用し、咬合面形態決定の基準となる面を咬合参照面とし、顎運動に調和する咬合面形態についての1つの研究方法を示した。しかし、咀嚼運動や側方滑走運動などの機能運動における咬合接触時に個々の歯は歯周組織を緩衝材として運動している。顎口腔機能に調和した理想的な咬合面形態を設計するためには、従来行われている顎運動解析とともに、個々の歯の運動についても6自由度で解析する必要がある。本研究では先に開発した高分解能6自由度運動測定器³⁾に更なる改良を加え、上顎第一小白歯の歯の運動測定、解析を行うとともに、顎運動との関係についても検討を加えた。

II. 研究方法

1. 測定器の改良

坂東ら³⁾が開発した高分解能6自由度運動測定器は磁場形成用コイル(以下、一次コイル)が直径約1,000mmの円形空心コイルを2個組み合わせた1対のヘルムホルツコイルをx y z各軸に配置した構成(図1)で、測定器は平行移動最小分解能4 μ m、回転運動最小分解能0.0005°の精度が得られた。

本測定器の高精度化、操作性の向上、データ処理の効率化を図るために新たな二次コイルの製作とセンサアンプ回路の改良を行った。また、歯の運動と顎運動の同時測定を実現するために電子回路部に改良を加えることとした。

2. データ処理

歯の運動の測定データ処理については重本らの方法と同様にFFT検波処理⁴⁾を施した。磁気空間は線形空間でないため、較正データをもとに最小自乗法を用いて二次の多項式によりデータの補正を行った。較正データは6自由度ステージ(PI社製、ヘキサポッドM-850)³⁾を用いて測定データを含む範囲を2.5mmごとに移動して収集した。較正実験はどの被験者についても測定後に行い、較

正データ数は 11,700~23,400 点と被験者ごとに異なっていた。

顎運動データについても FFT 処理後、最小自乗法を用いて二次の多項式によりデータの補正を行った。データの補正には一次コイルの中央部 240mm の立方体を 20mm ごとに移動して得られた 2197 点の較正データを用いた。

3. 歯の運動と顎運動の同時測定

被験者は顎口腔系に異常を認めない成人男性 3 名 (平均 30.7 歳, 27~34 歳) で, 上顎右側第一小臼歯 (4) を被験歯, 上顎左側第一小臼歯 (4) を参照歯として咬合力を負荷した時の歯の運動測定を行った。被験者 3 名の被験歯, 参照歯, および隣接歯は表 1 の通りであった。3 名の被験歯は健全生活歯であった。歯の運動測定用二次コイルは左右とも歯の頬側面中央部に即時重合レジンを介して α -シアノアクリレート接着剤 (東亜合成化学製, アロンアルファ) で固定した。顎運動測定については装着用シーネ⁵⁾を用いて顎運動測定用二次コイルを上下顎前歯部前方の口腔外に設置した。歯の運動, 顎運動とも解析の基準となる座標系には生体咬合平面座標系を使用した^{6, 7)}。歯の運動については坂東ら³⁾の, 顎運動については重本ら⁴⁾の方法に準じて基準座標系を設定した。基準座標系は前後方向を x 軸, 左右方向を y 軸, 上下方向を z 軸とする右手系である。x 軸方向移動量を x, y 軸方向移動量を y, z 軸方向移動量を z, x 軸回りの回転を θ_x , y 軸回りの回転を θ_y , z 軸回りの回転を θ_z とした。x については前方を正, y については左方を正, z については上方を正とし, 回転運動については各軸の正の方向からみて, 反時計回りを正とした。三次元的な移動量 (D) は各軸方向移動量の 2 乗和の平方根である (図 2)。歯の運動と顎運動は両者とも生体咬合平面座標系を基準とするため, 運動の重ね合わせが可能である。歯の運動は代表点として被験歯の咬合面中央部, 顎運動は下顎切歯点を運動の解析点とした。同時に咬合力計 (日本光電工業社製, AJ-241S) を用いて咬合力についても同時測定した。

測定は以下の項目について行った。

- 1) 咬合力計を介在させたときの咬みしめ
 - (1)被験歯頬側咬頭
 - (2)被験歯舌側咬頭

- (3)被験歯咬合面中央部
- (4)上顎右側犬歯（前方歯）尖頭
- 2) 咬頭嵌合位における咬みしめ

各咬頭への咬合力の負荷はロードセルの受圧部位に各咬頭に合うレジングブロックを固定し，被験咬頭と下顎のオクルーザルテーブルの間にロードセルを介在させることで行った．オクルーザルテーブルは咬合力負荷時に安定するように下顎歯列全体を被うように製作した．被験歯の咬合力負荷部位は頬側咬頭，舌側咬頭，および咬合面中央部の3種類とした（図3）．また，前方歯である犬歯については尖頭に咬合力を負荷し，被験歯と同様に測定を行った．咬合力については個歯咬合力を考慮して被験歯ごとに設定した．治具を軽く咬合させた状態で測定を開始し，視覚フィードバックにより設定咬合力を越えないように指示した．

Ⅲ．結果

図4に歯の運動，顎運動，咬合力の同時測定システムのブロックダイアグラムを示す．

1．測定器の改良

歯の運動測定用二次コイルは原点を一致させない構成とした場合，回転に対して誤差を持ちやすくなるため，新たに製作する二次コイルは原点が可及的に一致するような構成とし，図5に示すようにセンサ座標系を設定した．二次コイルは3.3mHの既製インダクタ（東光社製，D32FU 887FU-332M=p3）を2個直列につなぎ，XYZ各軸方向に向けてコイルの原点が可及的に一致するように製作した（図6）．二次コイルは大きさが9.5mmの立方体，重量はリード線，コネクターを含めて2.3gであった．また，センサアンプ回路に改良を加えることで測定器の高精度化を図った．

改良を加えた測定器の精度評価を行うと平行移動量分解能は平均1.3 μ m，回転運動量分解能は平均0.00017°であり，高精度化が実現できた（表2）．

顎運動測定には重本ら⁴⁾と同様の二次コイルを用いた．また，データの取り込みに使用している20bit A/D変換器8チャンネルのうち6チャンネルを歯の運動測定用に割り当て，残りの2チャンネルで顎運動および咬合力のデータ収集を行い，顎運動と咬合力の同

時測定を行うこととした。6個の顎運動測定用二次コイル出力信号を2チャンネルで取り込むために、上下顎二次コイルを各チャンネルに割り当て、各チャンネルを4分割して時分割でデータを取り込むコイルセレクト回路を新たに製作した。A/D変換器はサンプリング周波数が51.2kHzであるので、512個毎にFFT処理を行うと歯の運動は1秒間に100個のデータが得られるが、顎運動は時分割で測定するためデータ収集速度は1秒間につき25顎位となった。一般的に限界運動は50顎位/sec程度のデータ収集速度が必要であるので256点毎にFFT処理を行い、1秒間に50顎位のデータを収集することとした。また、歯の運動と顎運動データの時間軸を一致させるため、歯の運動は1024点毎にFFT処理を行いデータ収集速度を50個/secとした。1チャンネルを4分割するコイルセレクト回路を使用すると、2チャンネルで8チャンネル分のデータ収集が可能となった。使用していない2チャンネルのうちの1チャンネルで咬合力計からの出力信号を取り込んだ。

2. 歯の運動測定と顎運動測定

歯の運動測定用二次コイルと顎運動測定用二次コイルを装着し(図7)、歯の運動、顎運動、咬合力の同時測定を行った。設定咬合力は被験歯咬合力負荷では全ての被験者とも20kgf(196N)とし、前方歯である犬歯に咬合力負荷したときには、被験歯の最大咬合力を考慮して被験者Aで10kgf(98.1N)、被験者Bで15kgf(147N)、被験者Cで20kgf(196N)とした。

1)咬合力計を介在させたときの咬みしめ(図8)

(1)被験歯頬側咬頭咬合力負荷時の歯の運動

被験者Aが被験歯頬側咬頭に咬合力を負荷したとき、上顎右側第一小臼歯咬合面中央部に設定した解析点を咬合平面座標系で観察した場合、時間軸に対応する歯の運動の各要素の変化を図9に示す。測定開始時と最大咬合力発現時での歯の運動の変化量は $x:84\mu\text{m}$ 、 $y:-71\mu\text{m}$ 、 $z:99\mu\text{m}$ 、 $\theta_x:-0.582^\circ$ 、 $\theta_y:-0.341^\circ$ 、 $\theta_z:0.038^\circ$ であり、全体として歯は近心頬側歯根方向に $148\mu\text{m}$ 移動していた。なお、最大咬合力(F)は19.3kgf(189N)、測定開始時の開口量(Di)は18.8mmであった。

また、図10に解析点での歯の移動経路を各被験者の代表例について三平面投影図で示す。表3には最大咬合力発現時の歯の運動の

測定結果を示す。咬合力負荷部位が同じ場合には歯の移動方向には測定ごと、被験者ごとで一定の傾向が認められた。被験者A, Bでは三次元的移動量は平均約 $200\mu\text{m}$ であったが、被験者Cでは平均 $380\mu\text{m}$ とやや大きな値であった。負荷に対する歯の移動量を被験者間で比較するため、一つの代表値として「最大咬合力発現時の移動量 (D) /最大咬合力 (F)」を計算してみると、 1kgf (9.8N)あたりの移動量 (D/F) は被験者A, Bで約 $10\mu\text{m}$ であったのに対し、被験者Cでは $16.4\mu\text{m}$ と大きかった。回転量に関しては被験者間でほとんど差はなかった。また、 θ_x , θ_y に比べて θ_z はほとんど変化していなかった。

(2)被験歯舌側咬頭咬合力負荷時の歯の運動

被験歯舌側咬頭に咬合力を負荷したときの各要素ごとの時間軸に対応する被験者Aの歯の運動を図11に示す。最大咬合力発現時の変化量は $x:63\mu\text{m}$, $y:41\mu\text{m}$, $z:15\mu\text{m}$, $\theta_x:0.194^\circ$, $\theta_y:-0.169^\circ$, $\theta_z:0.198^\circ$ であり、全体として歯は口蓋側歯根方向に $119\mu\text{m}$ 移動していた。なお、最大咬合力は 19.8kgf (194N)、測定開始時の開口量は 18.6mm であった。

図12に各被験者ごとの歯の運動の三平面投影図を示す。運動方向は全ての被験者でほぼ同じであった。表4に舌側咬頭咬合力負荷時の被験者ごとの各要素の平均変化量を示す。平行移動成分は被験者Cが被験者A, Bより各成分ともに大きな値を示したが、 1kgf (9.8N)あたりの移動量は平均 $4\sim6\mu\text{m}$ と被験者間で大きな差はなかった。

回転運動成分についてはどの被験者も同じ方向に回転しており、また頬側咬頭咬合力負荷時と比べると頬舌的にみて対称に咬合させたことから θ_x のみが反対の回転を示した。

(3)被験歯咬合面中央部咬合力負荷時の歯の運動

咬合面中央部に咬合力を負荷したときの各要素ごとの時間軸に対応する被験者Aの歯の運動量を図13に示す。このときの変化量は $x:85\mu\text{m}$, $y:-12\mu\text{m}$, $z:41\mu\text{m}$, $\theta_x:0.005^\circ$, $\theta_y:-0.206^\circ$, $\theta_z:-0.155^\circ$ であり、全体として歯は近心歯根方向に $95\mu\text{m}$ 移動していた。最大咬合力は 17.8kgf (175N)、測定開始時の開口量は 17.2mm であった。

図14に歯の運動の三平面投影図を各被験者ごとに示す。表5に咬合面中央部咬合力負荷時の被験者ごとの各要素の平均変化量を示

す。平行移動量については被験者Cで移動量，咬合力ともにやや大きかったが，1 kgf (9.8N) あたりに換算すると平均6～7 μ m とほぼ同じ値になった。平行移動量は各成分についてみるとxが最も大きく3被験者とも同じ方向に移動していたが，yについては大きさ，方向とも一定でなかった。回転運動成分については θy が最も大きく， θx については大きさ，方向ともに一定でなかった。

(4)前方歯咬合力負荷時の歯の運動

被験歯の前方歯である上顎右側犬歯の尖頭に咬合力を負荷したときの各要素の時間ごとの被験者Aの被験歯の運動を図15に示す。変化量はx : 56 μ m, y : -74 μ m, z : 75 μ m, θx : 0.022°, θy : -0.142°, θz : -0.070°であり，全体として歯は近心歯根方向に119 μ m移動していた。最大咬合力は10.7kgf (105N)，測定開始時の開口量は16.3mmであった。

図16に歯の運動の三平面投影図を各被験者ごとに示す。表6に被験者ごとの各要素の平均変化量を示す。前方歯に咬合力を負荷したとき，被験歯も運動しており，運動方向は3被験者ともほぼ同じであった。平行移動量についても被験者Cで移動量，咬合力ともに大きな値であったが，1 kgf (9.8N) あたりの咬合力に対する移動量は他の被験者と差はなかった。

(5)顎運動

歯の運動と顎運動の同時測定を行ったところ，各咬頭咬合力負荷時には歯の運動とともに下顎も運動していた。図9における頬側咬頭咬合力負荷時の歯の運動に対応する下顎運動の各要素ごとの時系列変化を図17に表示した。咬合力に対応して下顎切歯点の開口量は約400～500 μ m変化していた。

測定には歯列間にオクルーザルテーブル，咬合力計を介在し開口した状態で咬みしめを行った。表7に各被験者ごとの測定開始時の下顎の位置について示した。

(6)咬合力と歯の移動量

頬側咬頭咬合力負荷時の咬合力と歯の移動量との関係の1例を図18に示す。咬合力約5 kgf (49N) を境にして，その前後で咬合力に対する歯の移動量の変化率が異なる。咬合力発現時から約5 kgf (49N) までは変化率は大きく，その後最大咬合力発現までは変化率は小さくなり，曲線は2相性を示した。また，最大咬合力発現までを往路，最大咬合力発現時以降を復路とした場合，往路と復路で

同じ経路を描かず、同じ咬合力で往路より復路のほうが移動量が大きくヒステリシスを持っていた。

(7)解析点周囲の歯の運動経路

本測定器は6自由度測定器であるので、測定点以外の点についても解析可能である。これまでは解析点を被験歯咬合面中央部に設定して歯の運動を観察した結果について述べてきたが、各咬頭咬合力負荷時の解析点を含む周囲の点について運動を表示すると図19～22のようになった。運動はそれぞれ図9, 11, 13, 15の時系列データに対応している。歯は負荷に対して平行移動のみならず回転運動も行っており、被験歯頬側咬頭咬合力負荷時には口蓋側歯根方向で運動経路が収束していた(図19)。運動は前頭面で表示したが、他の平面から観察してもほぼこの位置で運動経路が収束しており、回転中心となっていた。また、被験歯舌側咬頭咬合力負荷時には歯根方向で収束する点がみとめられたが、頬側咬頭咬合力負荷時ほど運動は収束しておらず、完全な回転中心とはなっていなかった。一方、被験歯咬合面中央部に咬合力を負荷したとき、および前方歯である犬歯に咬合力を負荷したときには被験歯の近傍に回転中心はみられなかった。なお、運動経路を重ねて表示した歯は被験歯の三次元形態を再現したのではなく、平均的な歯の模式図である。それぞれの運動経路は6mm間隔で表示し、運動経路は図19で20倍、図20で40倍、図21, 22で50倍で表示した。図中の $100\mu\text{m}$ のスケールは歯の運動経路のものである。

2)咬頭嵌合位における咬みしめ

咬頭嵌合位において強度咬みしめを行ったときの上顎左右第一小臼歯に装着した二次コイルのコイル間距離(D_s)は咬みしめ前後で約 $100\mu\text{m}$ 短縮していた。図23の最上段の D_s が歯の運動測定用二次コイルのコイル間距離を時間軸に対応して示したもので、 D_i およびそれ以下の各要素は下顎切歯点における下顎運動を示している。下顎運動に対応して二次コイル間距離は減少しており、咬みしめに対して歯列は左右的距離が減少する傾向にあった。

IV. 考察

1. 測定器の改良について

坂東ら³⁾が用いた歯の運動測定用二次コイルは原点を一致させない構成としたが、回転運動に対して精度が劣るため新たに3.3mH

のインダクタを用いて二次コイルを作製した。二次コイルの原点が一致し、大きさが小さくなったことで操作性が向上し、測定データの解析が容易になった。

また、センサアンプ回路に改良を加えることにより、システム全体の分解能が向上した。平行移動量分解能、回転運動量分解能ともに前回の約3倍となった。歯の運動を測定する機器としてはほぼ十分な精度を実現できたと考えられる。

今回、顎運動との同時測定を行うにあたりセンサコイルセレクト回路を新たに導入したが、時分割で測定するため、顎運動測定用二次コイルの各コイルからの入力に時間のずれが生じる上に、FFTは256点で処理しても50顎位/secしか運動データを得られないこととなった。顎運動測定では50顎位/secでも測定可能であるが、側方滑走運動や咀嚼運動などの機能時の歯の運動を解析する際には顎運動についても詳細に解析することが必要であり、そのためには高速、高分解能、多チャンネルのA/D変換器が必要であり、また高速D/A変換器を使用することで測定器全体の精度を向上させることができると考えている。

2. 歯の運動について

1)咬合力計を介在させたときの咬みしめ

各咬頭に咬合力を負荷したときの三次元的移動量(D)は被験歯頬側咬頭咬合力負荷時に最も大きく、次いで前方歯である犬歯に咬合力を負荷したとき、被験歯咬合面中央部咬合力負荷時、被験歯舌側咬頭咬合力負荷時の順であった。移動量としては被験歯頬側咬頭咬合力負荷時が大きかったが、咬合力1kgf(9.8N)あたりの移動量(D/F)は被験歯頬側咬頭咬合力負荷時と前方歯咬合力負荷時で10 μ m前後とほとんど差はなかった。また、咬合力1kgf(9.8N)あたりの移動量は被験歯頬側咬頭咬合力負荷時、前方歯咬合力負荷時が大きく、次いで被験歯咬合面中央部、被験歯舌側咬頭の順となった。

本研究では、参照歯に対する被験歯の運動を解析しており、移動量のすべてが歯の運動によるもののみとは考えられず、歯槽骨の変形も含んでいると考えられる。しかし、被験歯頬側咬頭咬合力負荷時に比べて舌側咬頭や咬合面中央部で咬合したときには単位咬合力あたりの移動量が小さく、その3方向成分も小さかった。移動方向

は頬側咬頭咬合力負荷時および咬合面中央部咬合力負荷時において頬側方向へ移動する傾向があるが、それは咬合面中央部よりも頬側咬頭咬合力負荷時において強い傾向を示していた。反対に舌側咬頭咬合力負荷時には口蓋側方向へ移動する傾向があった。単位咬合力あたりの移動量が小さい方が咬合力負担能力が大きいと考えられること、また咬合時に歯列を離開する方向へ歯が移動することは食片圧入等の問題を起こす可能性があることから、上顎第一小臼歯では咬合接触を与える部位として舌側咬頭および咬合面中央部に設定するのが良いのではないかと考えられる。

前方歯である犬歯に咬合力を負荷したとき、被験歯は咬合力 1 kgf (9.8N) あたりの移動量が頬側咬頭咬合力負荷時とほぼ同じであったが、被験歯の運動は隣接面接触によるものと歯槽骨の変形によるもの⁸⁾が考えられる。被験者 C については前方歯と被験歯との間に隣接面接触がなく、被験歯の運動はすべて歯槽骨の変形によるものと思われる。

図 19~22 における運動では主に頬側咬頭、舌側咬頭咬合力負荷時で回転中心が観察され、被験者 A だけでなく B, C についても同様の傾向が示されたが、頬側、舌側咬頭咬合力負荷時でも測定によってはレジブロックを介して歯に対して加わる負荷の方向が必ずしも一定ではないため、回転中心が観察されない運動もあった。測定に用いた咬合力計は一次元の咬合力しか検出しないため、咬合力の垂直成分以外の分力は検出不可能であることから、咬合力に対する歯の運動の 6 自由度解析を行うためには咬合力についても 6 自由度で測定する必要があると考えられる。

2) 顎運動との同時測定

今回の研究では歯の運動と同時測定を行った下顎運動データは、測定開始時の下顎位と咬合力負荷時の下顎位の確認に用いるのみであったが、下顎運動は機能運動時の測定を行う際には歯の運動との重ね合わせが比較的容易であることから、同時測定の可能性が示されたことで、研究の最終目標である顎運動に調和した咬合面形態の設計に大いに役立つものと期待できる。

3) 咬合嵌合位での咬みしめ

咬頭嵌合位で強度咬みしめを行った際、歯の運動測定用二次コイルは両側の二次コイル間距離が左右的に減少する傾向があった。参照歯を反対側に設定したため咬頭嵌合位では参照歯についても咬合

接触があり、咬みしめによる距離の減少は被験歯、参照歯両方の運動が含まれていると考えられる。加藤⁹⁾は咬頭嵌合位の咬みしめ時に上顎歯列間距離は減少すると報告しており、同様の測定結果が得られた。

3. 今後の展開

今後は、各歯種における咬合力に対する歯の運動を測定するとともに、機能運動時の歯の運動および顎運動を測定することで、顎運動に調和した咬合面形態を明らかにする所存である。

V. 結論

歯の運動と顎運動が同一測定器で測定可能な高分解能6自由度運動測定器を用いて歯の運動と顎運動との同時測定を行い、以下の結論を得た。

1. 測定器の高精度化を図るため、新たに二次コイルを製作し、センサアンプ回路に改良を加えたところ、平行移動量分解能は $1.3 \mu\text{m}$ 、回転運動量分解能は 0.00017° を達成できた。
2. 試作した測定器を用いて3名の被験者の上顎右側第一小臼歯について咬合力負荷時の歯の運動を測定した。
3. 各咬頭咬合力負荷時に運動の収束する点すなわち回転中心が歯の近傍にある場合とない場合があった。

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました坂東永一教授、ご教授を賜りました浅岡憲三教授、市川哲雄教授に深甚なる謝意を表します。また、歯科補綴学第二講座の教室員の方々に深謝いたします。

本研究の一部は文部省科学研究費補助金（基盤研究A，課題番号08407064）ならびに科学技術振興調整費によった。ここに記して感謝の意を表する。

文献

- 1) 鈴木 温. 顎位, 顎運動の表現方法について. 顎機能 3 : 127-134, 1985.
- 2) 美馬さとみ. 顎運動に調和した咬合小面の形態. 補綴誌 32 : 624-638, 1988.
- 3) 坂東永一, 薩摩登誉子, 重本修伺. 高分解能6自由度運動測定器の開発. 印刷中(参考論文として添付).
- 4) 重本修伺, 坂東永一. ブラキシズム解析用顎運動測定器の開発. 補綴誌 40 : 379-389, 1996.
- 5) 郡 元治, 坂東永一. 磁気位相空間を応用した上顎6自由度下顎6自由度運動測定器の試作. 補綴誌 37 : 337-349, 1993.
- 6) 鈴木 温. デジタル方式下顎運動測定器による下顎限界運動の6自由度解析. 補綴誌 31 : 712-725, 1987.
- 7) 藤村哲也, 坂東永一. デジタル方式顎運動測定器の開発. 補綴誌 35 : 830-842, 1991.
- 8) 三浦宏之, 古木 譲, 長谷川成男ほか. 咬合力による歯周組織の歪み—上顎臼歯部について—. 補綴誌 37 : 1305-1311, 1993.
- 9) 加藤 均. 歯周組織の機能状態に関する研究 第2報 臼歯の機能時の変位と安静時の脈動. 補綴誌 26 : 133-147, 1982.

図表の説明

- 表 1 Demographics of subjects and teeth
被験者および被験歯の構成
- 表 2 Magnetic phase shift and phase detecting error during translation
at axes
平行移動時の位相変化量と位相検波誤差
- 表 3 Average magnitude of tooth movement at the peak buccal cusp
loading
頬側咬頭咬合力負荷最大時の歯の運動の平均値
- 表 4 Average magnitude of tooth movement at the peak palatal cusp
loading
舌側咬頭咬合力負荷最大時の歯の運動の平均値
- 表 5 Average magnitude of tooth movement at the peak central fossa
loading
咬合面中央部咬合力負荷最大時の歯の運動の平均値
- 表 6 Average magnitude of tooth movement at the peak anterior tooth
(canine) loading
前方歯咬合力負荷最大時の歯の運動の平均値
- 表 7 Mandibular position at the beginning at occlusal loading
咬合開始時における下顎位
- 図 1 Primary coils
一次コイル
- 図 2 The frame of reference
座標系

- 図 3 Arrangement for occlusal force loading
咬合力負荷法
- 図 4 Block diagram of the measuring system
測定システムのブロックダイアグラム
- 図 5 Composition of secondary coils
二次コイルの構成
- 図 6 Secondary coils to detect tooth movement
歯の運動測定用二次コイル
- 図 7 Arrangement of secondary coils for simultaneous measurement of
tooth movement and jaw movement
歯の運動と顎運動との同時測定
- 図 8 Recording scene
測定風景
- 図 9 Tooth movement during buccal cusp loading (sub.A)
頬側咬頭咬合力負荷時の歯の運動 (被験者 A)
- 図 10 Tooth movement tracks during buccal cusp loading (projections)
頬側咬頭咬合力負荷時の歯の運動経路 (三平面投影図)
- 図 11 Tooth movement during palatal cusp loading (Sub.A)
舌側咬頭咬合力負荷時の歯の運動 (被験者 A)
- 図 12 Tooth movement tracks during palatal cusp loading (projections)
舌側咬頭咬合力負荷時の歯の運動経路 (三平面投影図)
- 図 13 Tooth movement during central fossa loading (Sub.A)
咬合面中央部咬合力負荷時の歯の運動 (被験者 A)

- 図 14 Tooth movement tracks during central fossa loading (projections)
咬合面中央部咬合力負荷時の歯の運動経路（三平面投影図）
- 図 15 Tooth movement during anterior tooth (canine) loading (Sub.A)
前方歯咬合力負荷時の歯の運動（被験者 A）
- 図 16 Tooth movement tracks during anterior tooth (canine) loading
(projections)
前方歯咬合力負荷時の歯の運動経路（三平面投影図）
- 図 17 Mandibular movement during buccal cusp loading (sub.A)
頬側咬頭咬合力負荷時の下顎運動（被験者 A）
- 図 18 Occlusal force and tooth translation (Sub.A , buccal cusp loading)
咬合力と歯の三次元的移動量（被験者 A , 頬側咬頭咬合力負荷時）
- 図 19 Frontal view of tooth movement pathways (Sub.A , buccal cusp loading)
前頭面内における歯の運動経路（被験者 A , 頬側咬頭咬合力負荷時）
- 図 20 Frontal view of tooth movement pathways (Sub.A , palatal cusp loading)
前頭面内における歯の運動経路（被験者 A , 舌側咬頭咬合力負荷時）
- 図 21 Frontal view of tooth movement pathways (Sub.A , central fossa loading)
前頭面内における歯の運動経路（被験者 A , 咬合面中央部咬合力負荷時）

図 22 Frontal view of tooth movement pathways (Sub.A , anterior tooth (canine) loading)

前頭面内における歯の運動経路（被験者A，前方歯咬合力負荷時）

図 23 Distance between left and right secondary coils and incisal point transfer clenching in intercuspal position (Sub.A)

咬頭嵌合位での咬みしめ時における二次コイル間距離と下顎切歯点移動（被験者A）

表1 Demographics of subjects and teeth
被験者および被験歯の構成

Age	Subject's tooth and reference's tooth	Proximal teeth
Subject A 31	Intact teeth	Intact teeth
Subject B 34	Intact teeth	<u>3</u> Labioversion
Subject C 27	<u>4</u> Inlay(occlusal surface)	<u>4</u> <u>3</u> 2mm interproximal space
		<u>5</u> <u>5</u> FCK

表 2 Magnetic phase shift and phase detecting error during translation at axes
 平行移動時の位相変化量と位相検波誤差

	x - direction	y - direction	z - direction
Phase shift (° /mm)	0.131	0.127	0.136
Phase detecting error (°)	1.70×10^{-4}	1.87×10^{-4}	1.52×10^{-4}
Resolving power (mm)	1.29×10^{-3}	1.47×10^{-3}	1.12×10^{-3}

FFT points : 512

表3 Average magnitude of tooth movement
at the peak buccal cusp loading
頬側咬頭咬合力負荷最大時の歯の運動の平均値

	Sub. A	Sub. B	Sub. C
D (μ m)	218 (148 ~ 249)	208 (161 ~ 252)	380 (359 ~ 407)
x (μ m)	114 (62 ~ 173)	122 (79 ~ 133)	261 (148 ~ 311)
y (μ m)	-94 (-136 ~ -42)	-113 (-138 ~ -75)	-186 (-234 ~ -129)
z (μ m)	152 (95 ~ 193)	119 (53 ~ 169)	192 (156 ~ 240)
θ x ($^{\circ}$)	-0.437 (-0.681 ~ -0.103)	-0.415 (-0.481 ~ -0.337)	-0.495 (-0.659 ~ -0.200)
θ y ($^{\circ}$)	-0.369 (-0.414 ~ -0.306)	-0.498 (-0.561 ~ -0.407)	-0.774 (-0.968 ~ -0.615)
θ z ($^{\circ}$)	0.033 (-0.031 ~ 0.081)	-0.013 (-0.163 ~ 0.045)	-0.034 (-0.111 ~ 0.016)
F (kgf)	20.0 (18.2 ~ 21.8)	21.7 (19.9 ~ 22.5)	23.4 (19.7 ~ 25.9)
D/F (μ m/kgf)	10.9 (7.7 ~ 12.4)	9.6 (7.8 ~ 11.6)	16.4 (13.9 ~ 19.3)
n	8	11	6
			Average (Range)

表4 Average magnitude of tooth movement
at the peak palatal cusp loading
舌側咬頭咬合力負荷最大時の歯の運動の平均値

	Sub. A	Sub. B	Sub. C
D (μ m)	85 (63 ~ 175)	87 (63 ~ 105)	142 (83 ~ 185)
x (μ m)	66 (27 ~ 117)	73 (62 ~ 92)	106 (59 ~ 155)
y (μ m)	49 (14 ~ 126)	12 (-60 ~ 47)	61 (20 ~ 129)
z (μ m)	1 (-35 ~ 19)	16 (-53 ~ 69)	57 (-12 ~ 103)
θ x ($^{\circ}$)	0.175 (0.120 ~ 0.218)	0.211 (0.110 ~ 0.297)	0.298 (0.212 ~ 0.388)
θ y ($^{\circ}$)	-0.199 (-0.259 ~ -0.138)	-0.480 (-0.583 ~ -0.421)	-0.557 (-0.686 ~ -0.333)
θ z ($^{\circ}$)	-0.207 (-0.234 ~ -0.169)	-0.238 (-0.283 ~ -0.204)	-0.164 (0.210 ~ -0.115)
F (kgf)	20.1 (18.8 ~ 21.9)	20.6 (19.2 ~ 22.3)	24.0 (19.3 ~ 28.1)
D/F (μ m/kgf)	4.3 (3.0 ~ 8.5)	4.2 (3.2 ~ 5.5)	6.0 (3.9 ~ 8.2)
n	11	10	9
Average (Range)			

表5 Average magnitude of tooth movement
at the peak central fossa loading
咬合面中央部咬合力負荷最大時の歯の運動の平均値

	Sub. A	Sub. B	Sub. C
D (μ m)	130 (95 ~ 156)	139 (107 ~ 192)	158 (78 ~ 272)
x (μ m)	113 (85 ~ 148)	115 (93 ~ 133)	100 (45 ~ 153)
y (μ m)	-22 (-1 ~ -42)	-46 (-20 ~ -101)	69 (1 ~ 168)
z (μ m)	57 (35 ~ 81)	60 (37 ~ 94)	82 (10 ~ 183)
θ x ($^{\circ}$)	-0.024 (-0.075 ~ 0.024)	-0.051 (-0.179 ~ 0.044)	0.089 (0.020 ~ 0.200)
θ y ($^{\circ}$)	-0.236 (-0.289 ~ -0.172)	-0.572 (-0.649 ~ -0.519)	-0.625 (-0.744 ~ -0.516)
θ z ($^{\circ}$)	-0.116 (-0.155 ~ -0.098)	-0.163 (-0.298 ~ -0.089)	-0.142 (-0.239 ~ -0.087)
F (kgf)	20.4 (17.8 ~ 22.4)	20.5 (19.7 ~ 21.0)	22.8 (20.4 ~ 25.1)
D/F (μ m/kgf)	6.4 (5.4 ~ 7.6)	6.8 (5.1 ~ 9.7)	6.8 (3.8 ~ 11.5)
n	11	6	8
Average (Range)			

表6 Average magnitude of tooth movement
at the peak anterior tooth (canine) loading
前方歯咬合力負荷最大時の歯の運動の平均値

	Sub. A	Sub. B	Sub. C
D (μ m)	135 (108 ~ 198)	158 (131 ~ 189)	242 (138 ~ 495)
x (μ m)	88 (54 ~ 159)	131 (84 ~ 182)	109 (37 ~ 251)
y (μ m)	-33 (-88 ~ 171)	-67 (-25 ~ -140)	-166 (-76 ~ -371)
z (μ m)	35 (-69 ~ 93)	21 (-52 ~ 60)	130 (79 ~ 210)
θ x ($^{\circ}$)	-0.027 (-0.088 ~ -0.005)	-0.158 (-0.238 ~ 0.027)	-0.110 (-0.178 ~ -0.034)
θ y ($^{\circ}$)	-0.159 (-0.217 ~ 0.010)	-0.525 (-0.601 ~ -0.458)	-0.409 (-0.474 ~ -0.293)
θ z ($^{\circ}$)	0.050 (-0.010 ~ 0.071)	-0.079 (-0.198 ~ -0.033)	-0.036 (-0.093 ~ 0.022)
F (kgf)	12.4 (8.8 ~ 14.1)	16.4 (13.7 ~ 18.3)	22.2 (16.6 ~ 24.8)
D/F (μ m/kgf)	11.3 (8.3 ~ 22.4)	9.6 (7.6 ~ 10.7)	11.1 (5.6 ~ 21.4)
n	11	9	11
Average (Range)			

表7 Mandibular position at the beginning at occlusal loading
咬合開始時における下顎位

	Di (mm)	x (mm)	y (mm)	z (mm)	θ_x ($^\circ$)	θ_y ($^\circ$)	θ_z ($^\circ$)
buccal cusp load							
Sub. A	18.7	0.1	1.0	-18.7	0.366	9.803	0.428
Sub. B	16.3	0.7	3.0	-16.0	0.165	8.388	1.395
Sub. C	19.7	-2.2	1.8	-19.2	0.481	10.441	0.310
palatal cusp load							
Sub. A	18.7	-1.1	0.8	-18.6	0.384	9.991	0.274
Sub. B	16.0	-0.3	2.9	-15.7	0.063	8.399	1.364
Sub. C	19.4	-2.8	0.6	-19.1	-0.516	10.982	-0.173
central fossa load							
Sub. A	17.4	0.5	1.2	-17.3	0.303	9.067	0.466
Sub. B	15.8	-0.8	4.1	-15.2	0.136	7.849	1.848
Sub. C	19.4	-1.9	0.9	-19.0	-0.102	10.545	0.047
canine load							
Sub. A	16.9	-2.5	0.4	-16.7	0.386	9.359	0.109
Sub. B	13.9	1.5	2.2	-13.5	0.043	6.749	0.894
Sub. C	17.9	-0.9	-2.0	-17.8	-0.075	12.879	-1.932

$$D_i = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$$

(n = 5)

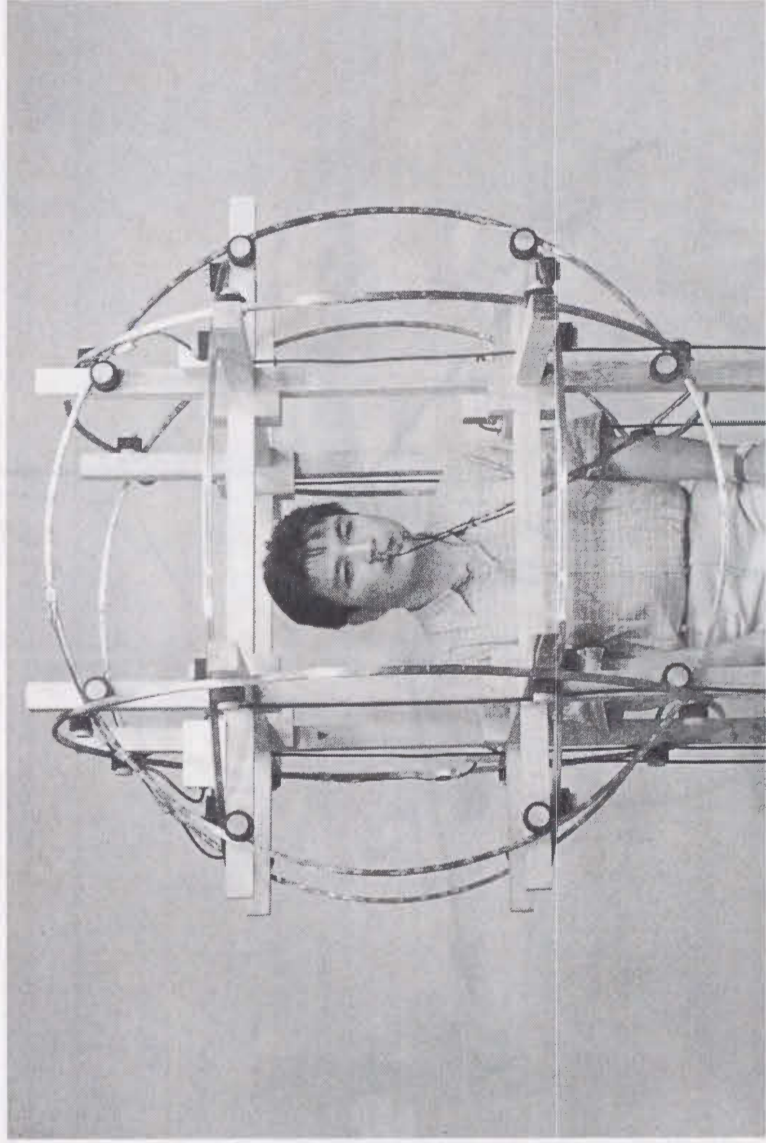
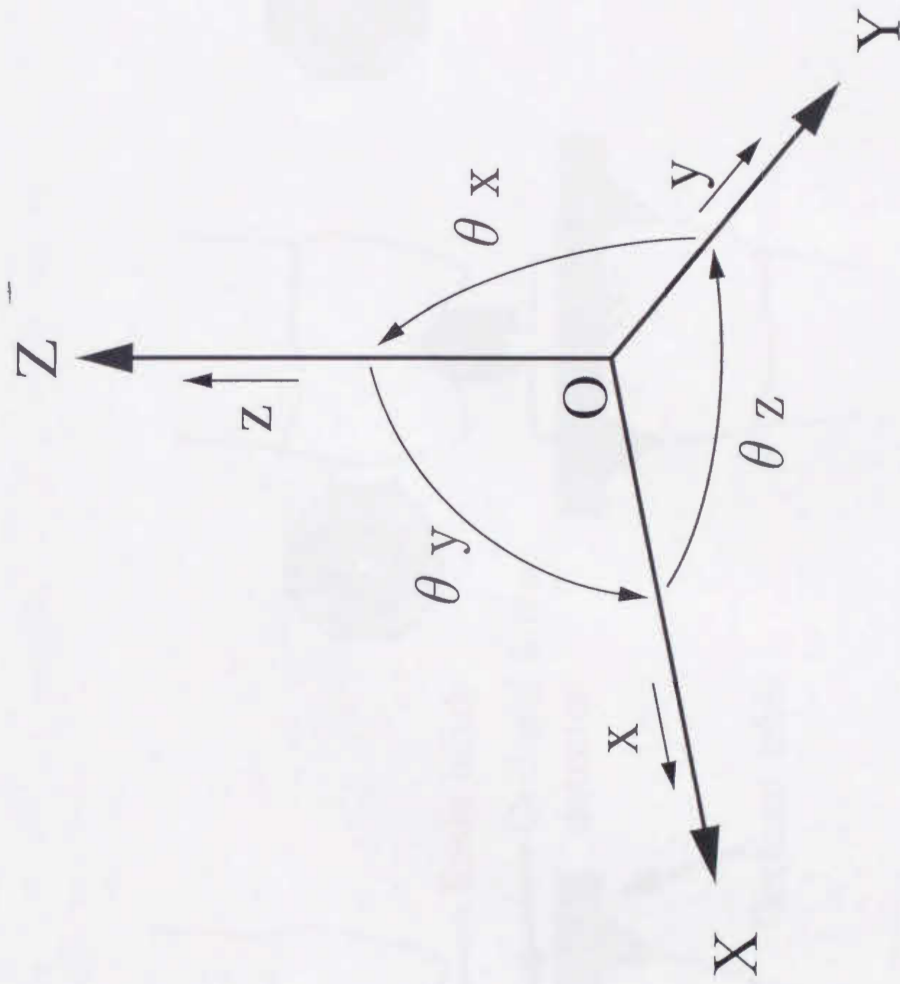


図1 Primary coils
一次コイル



$$D = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$$

图 2 The frame of reference

D : Three dimensional translation
座標系

D : 三次元的移動量

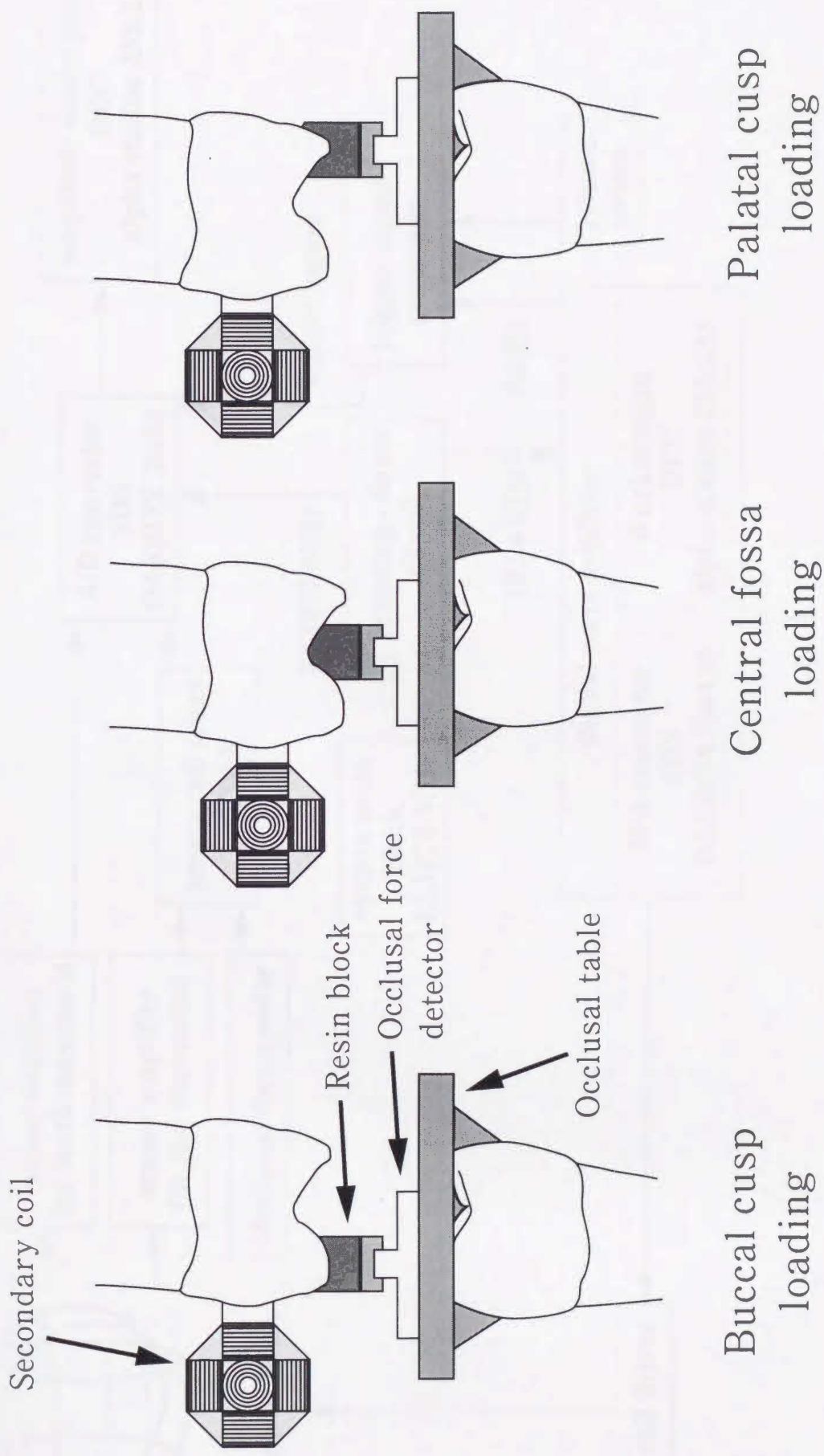


图3 Arrangement for occlusal force loading
咬合力負荷法

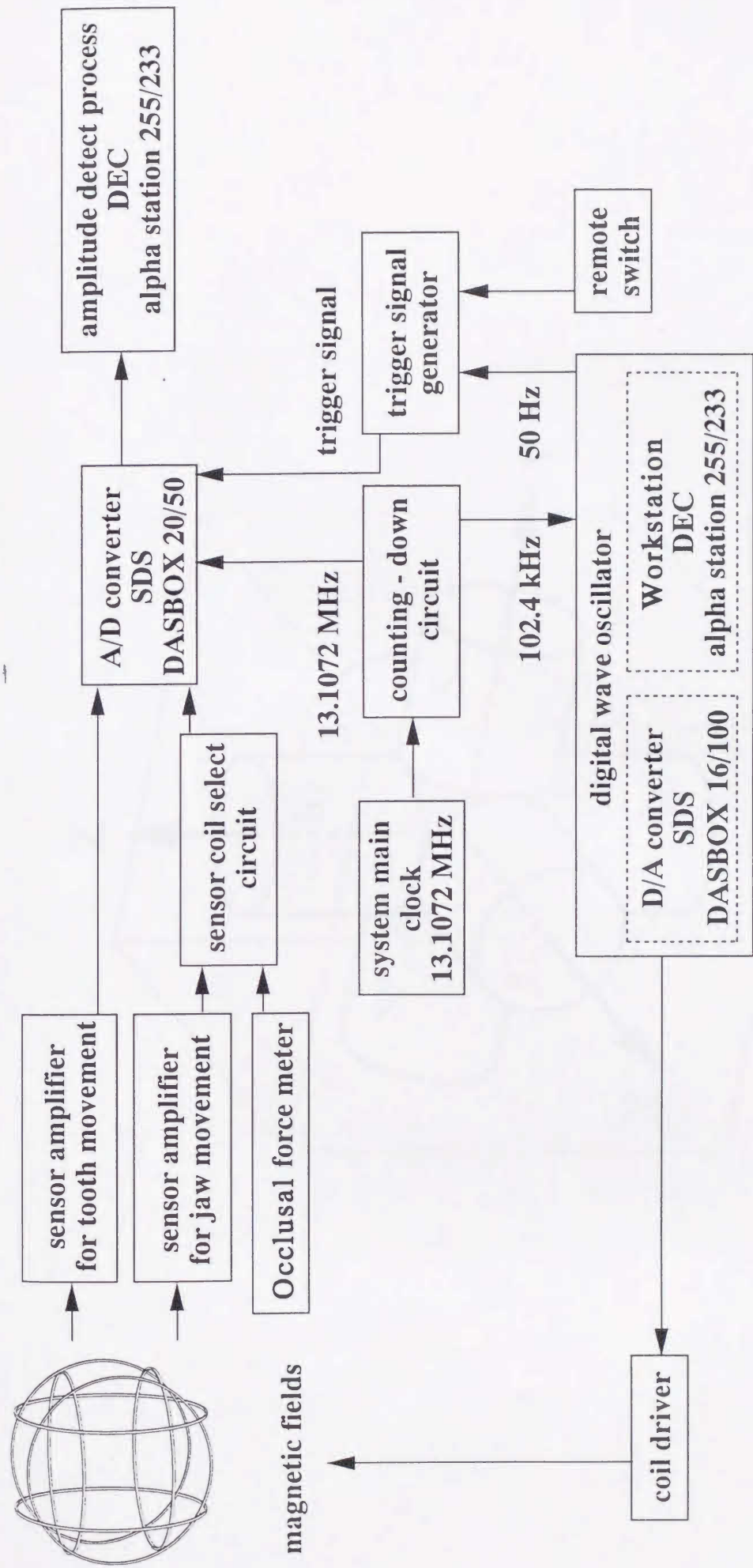


図4 Block diagram of the measuring system
測定システムのブロックダイアグラム

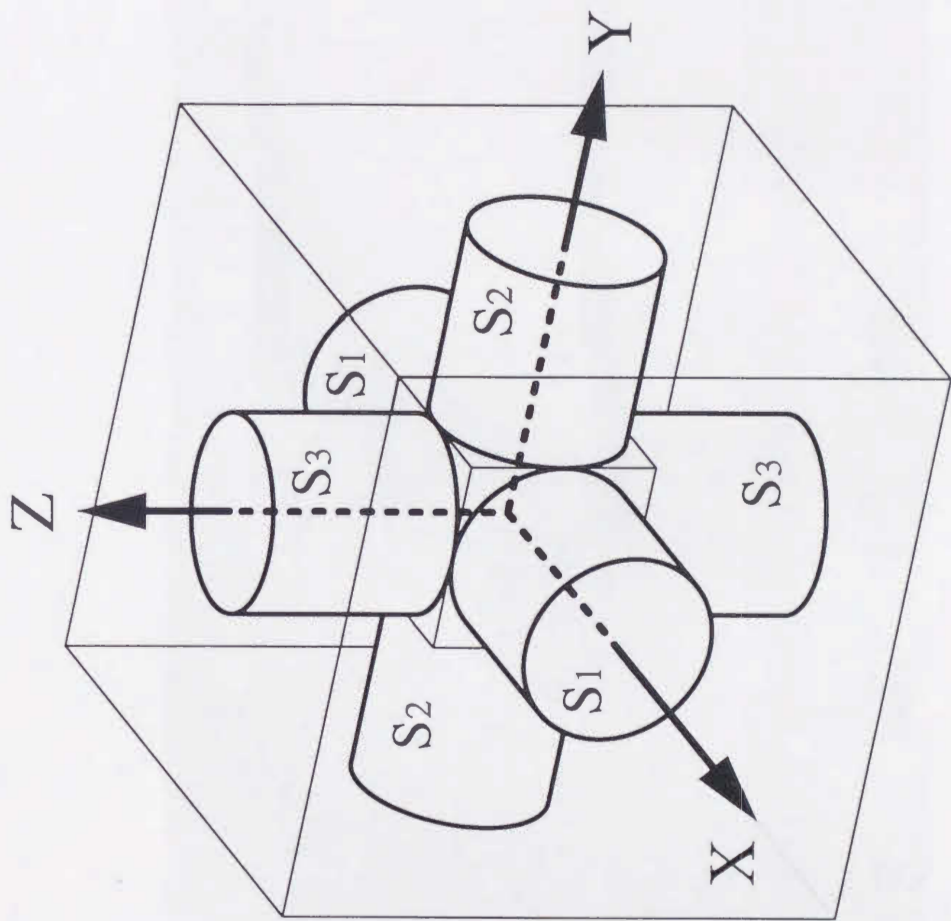


図5 Composition of secondary coils
二次コイルの構成



図6 Secondary coils to detect tooth movement
歯の運動測定用二次コイル

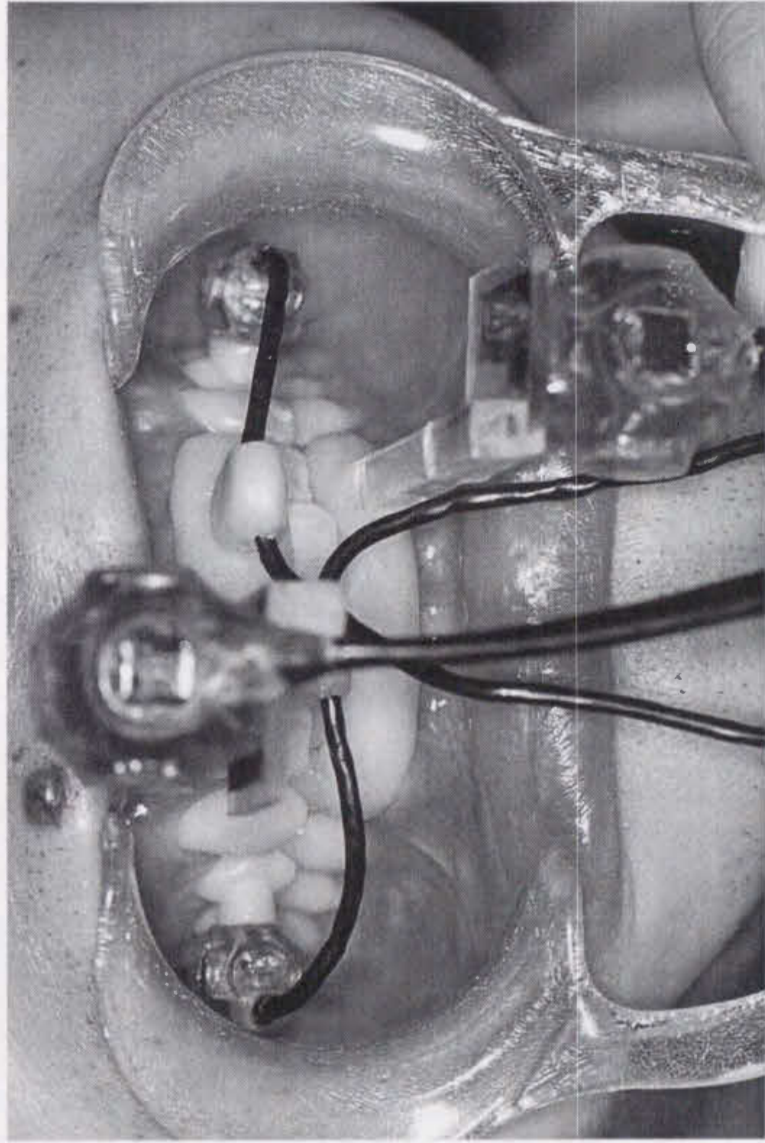


図7 Arrangement of secondary coils for simultaneous measurement
of tooth movement and jaw movement
歯の運動と顎運動との同時測定

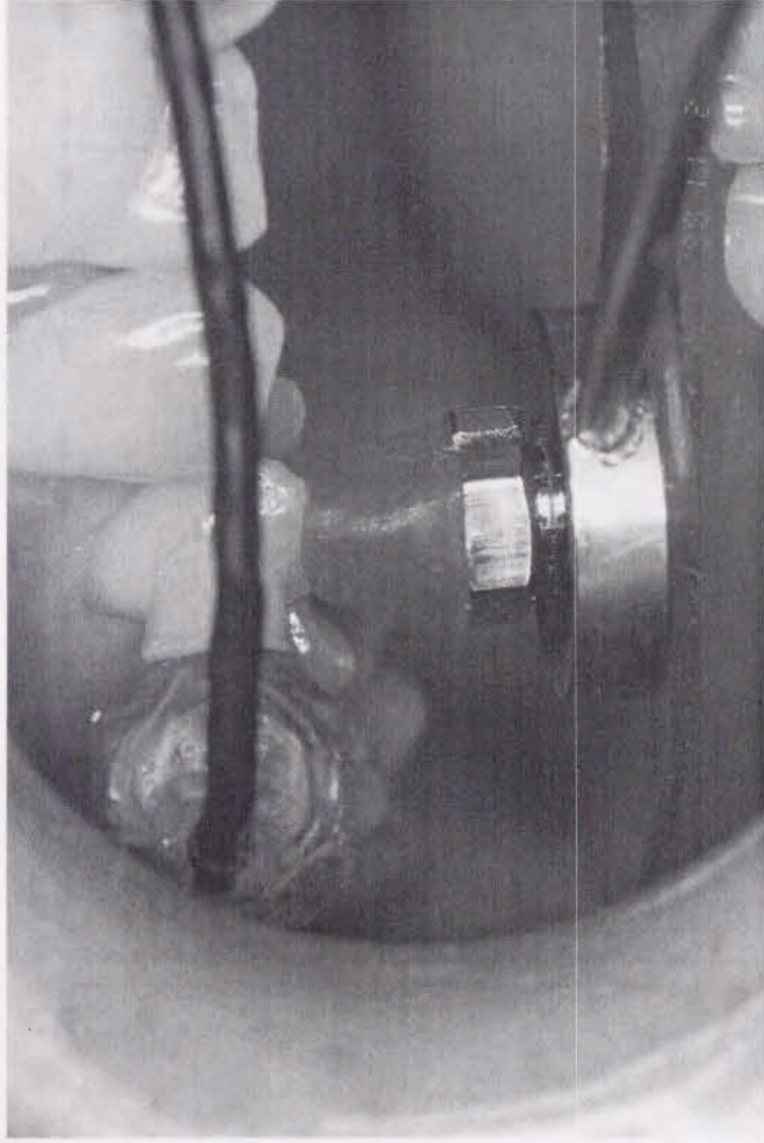


图8 Recording scene
測定風景

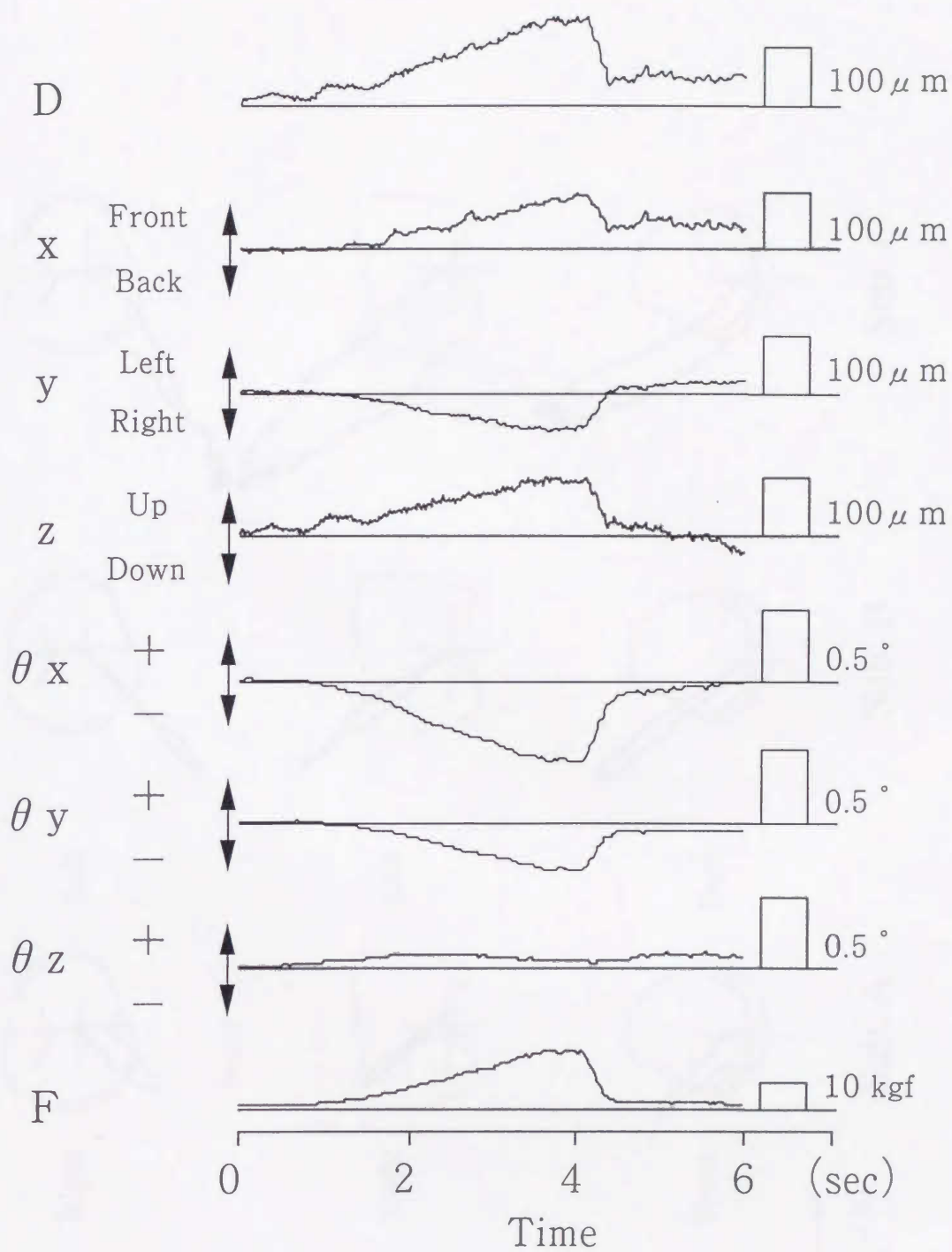


図9 Tooth movement during buccal cusp loading (Sub. A)
 頬側咬頭咬合力負荷時の歯の運動 (被験者A)

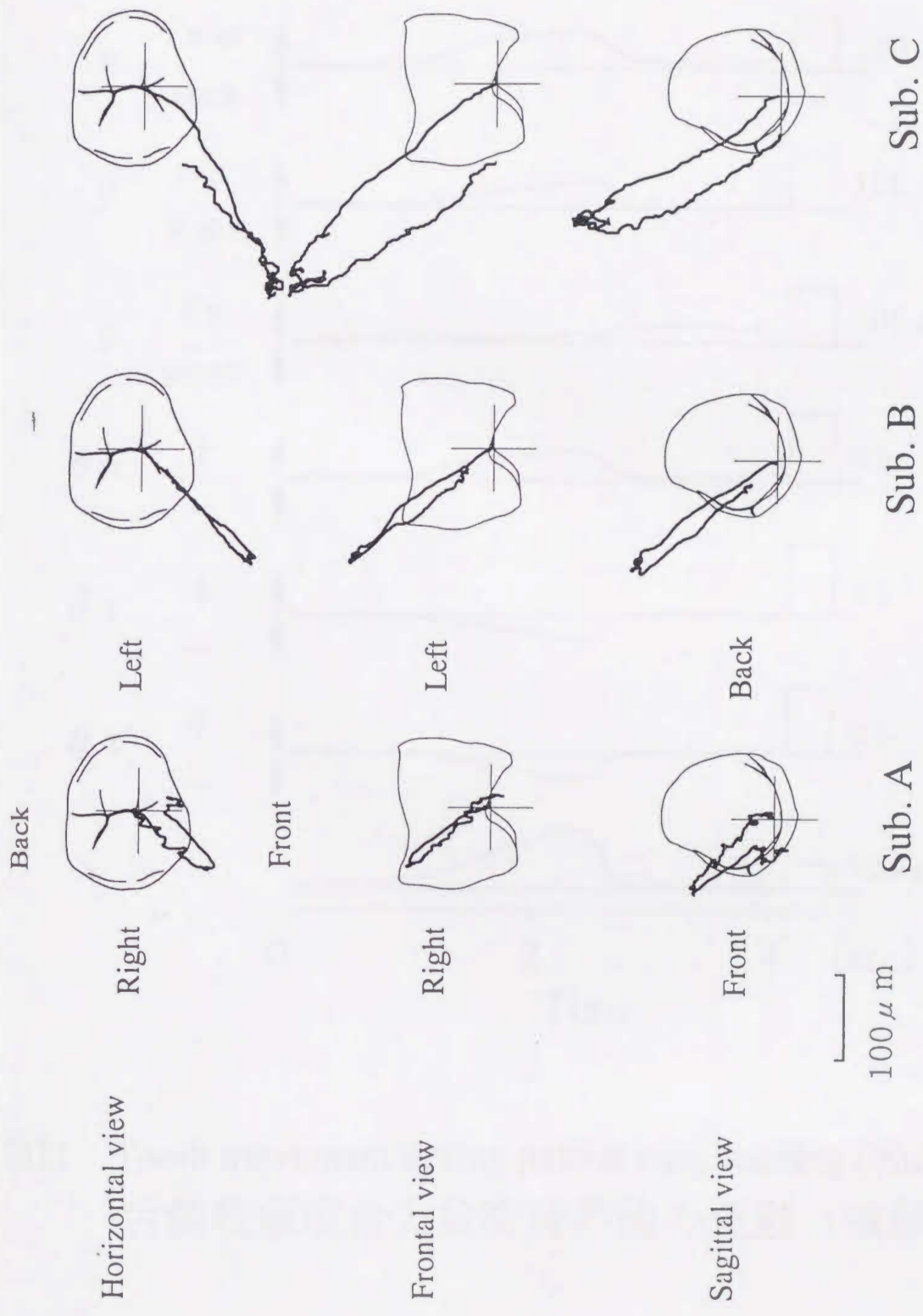


図10 Tooth movement tracks during buccal cusp loading (projections)
 頬側咬頭咬合力負荷時の歯の運動経路 (三平面投影図)

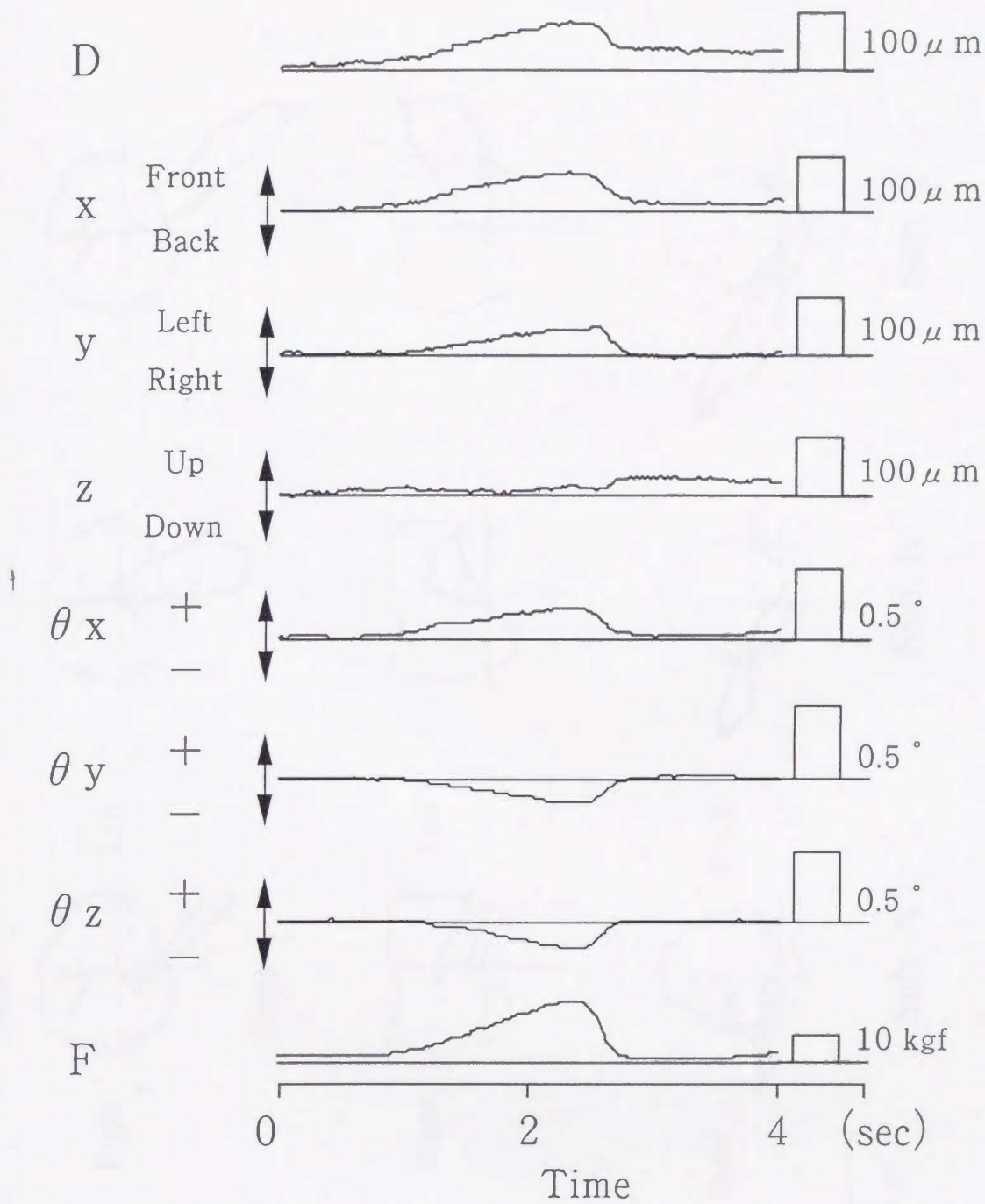


図11 Tooth movement during palatal cusp loading (Sub. A)
 舌側咬頭咬合力負荷時の歯の運動 (被験者A)

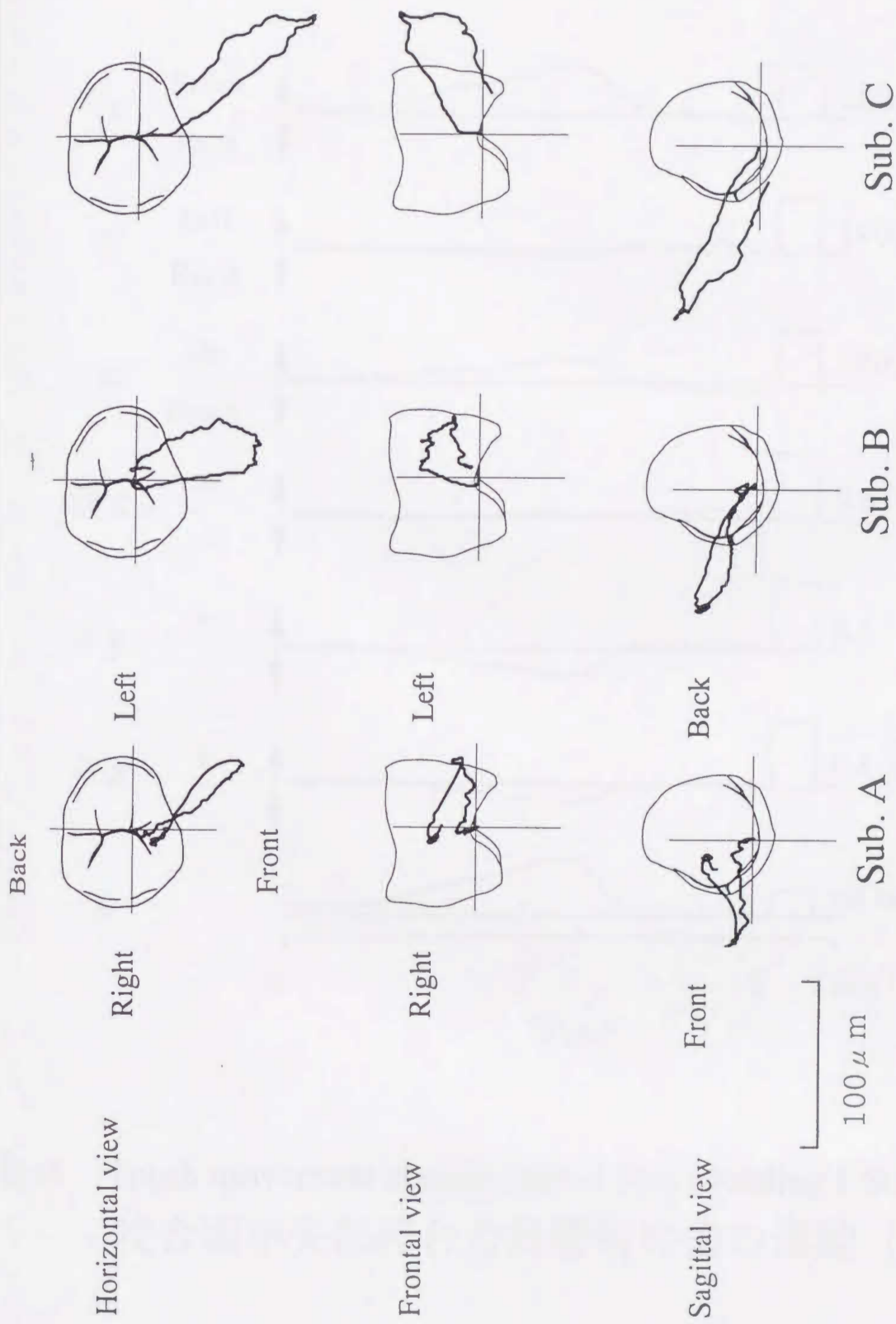
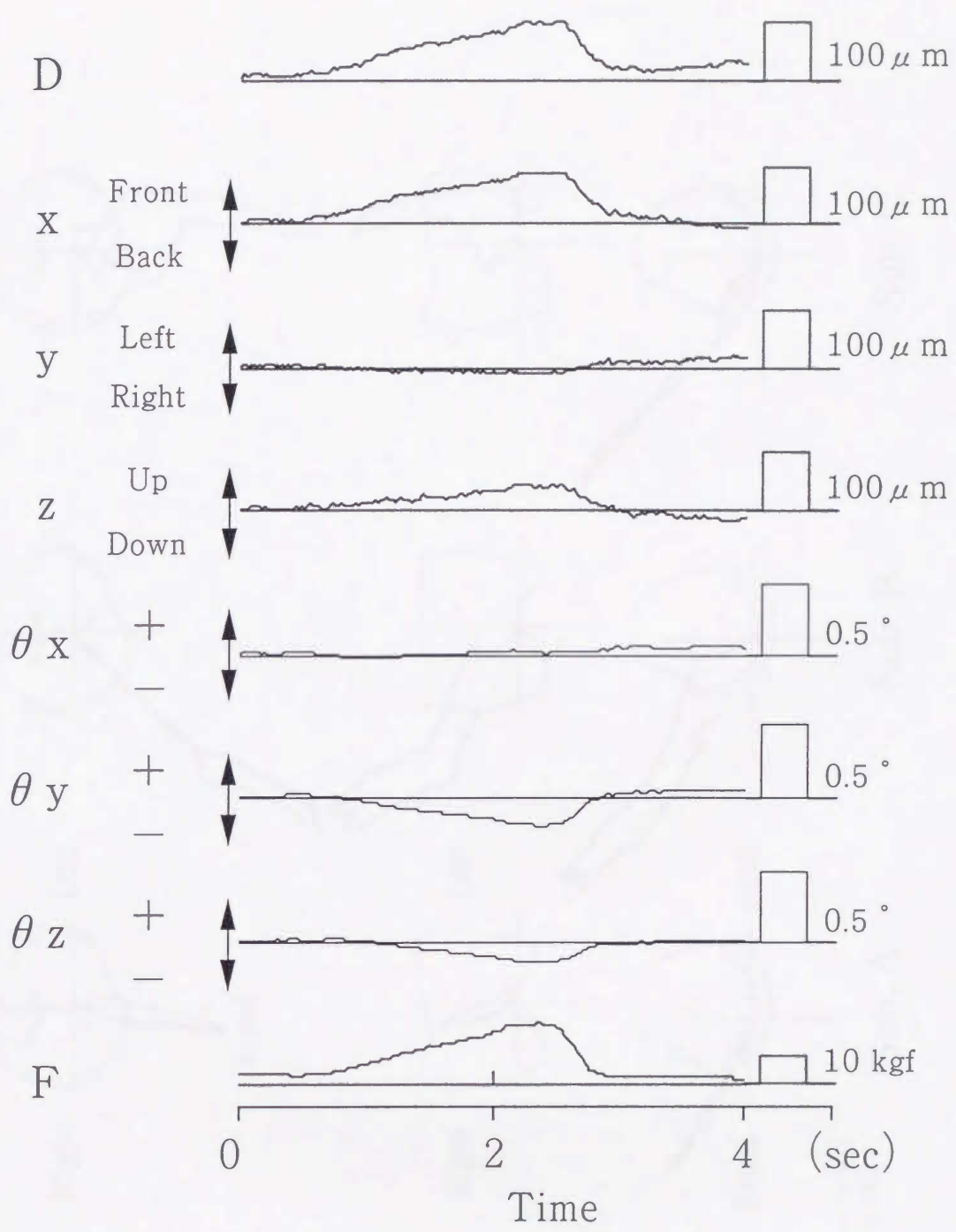


図12 Tooth movement tracks during palatal cusp loading (projections)
 舌側咬頭咬合力負荷時の歯の運動経路 (三平面投影図)



13 Tooth movement during central fossa loading (Sub. A)
 咬合面中央部咬合力負荷時の歯の運動 (被験者A)

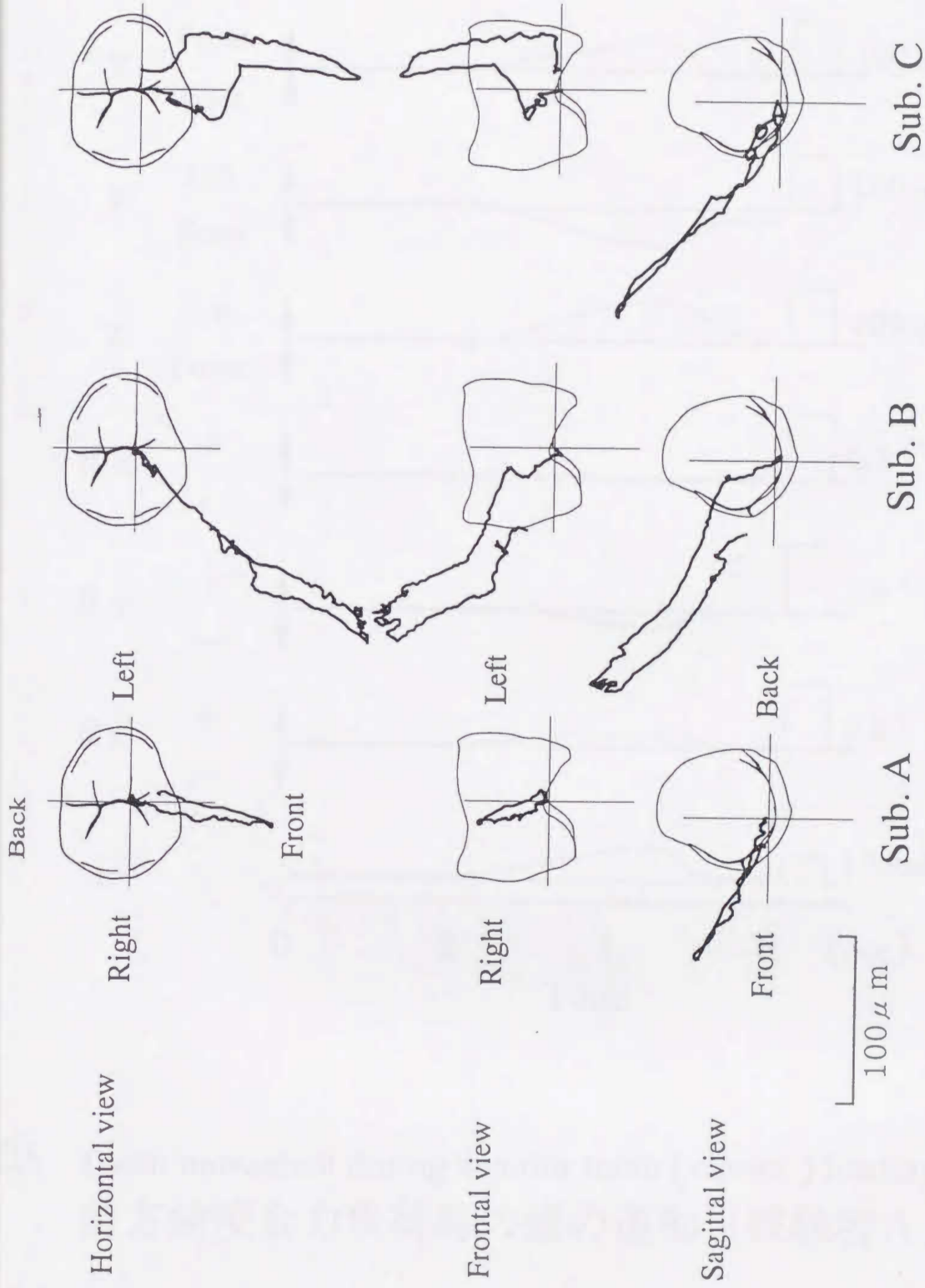


図14 Tooth movement tracks during central fossa loading (projections)
咬合面中央部咬合力負荷時の歯の運動経路 (三平面投影図)

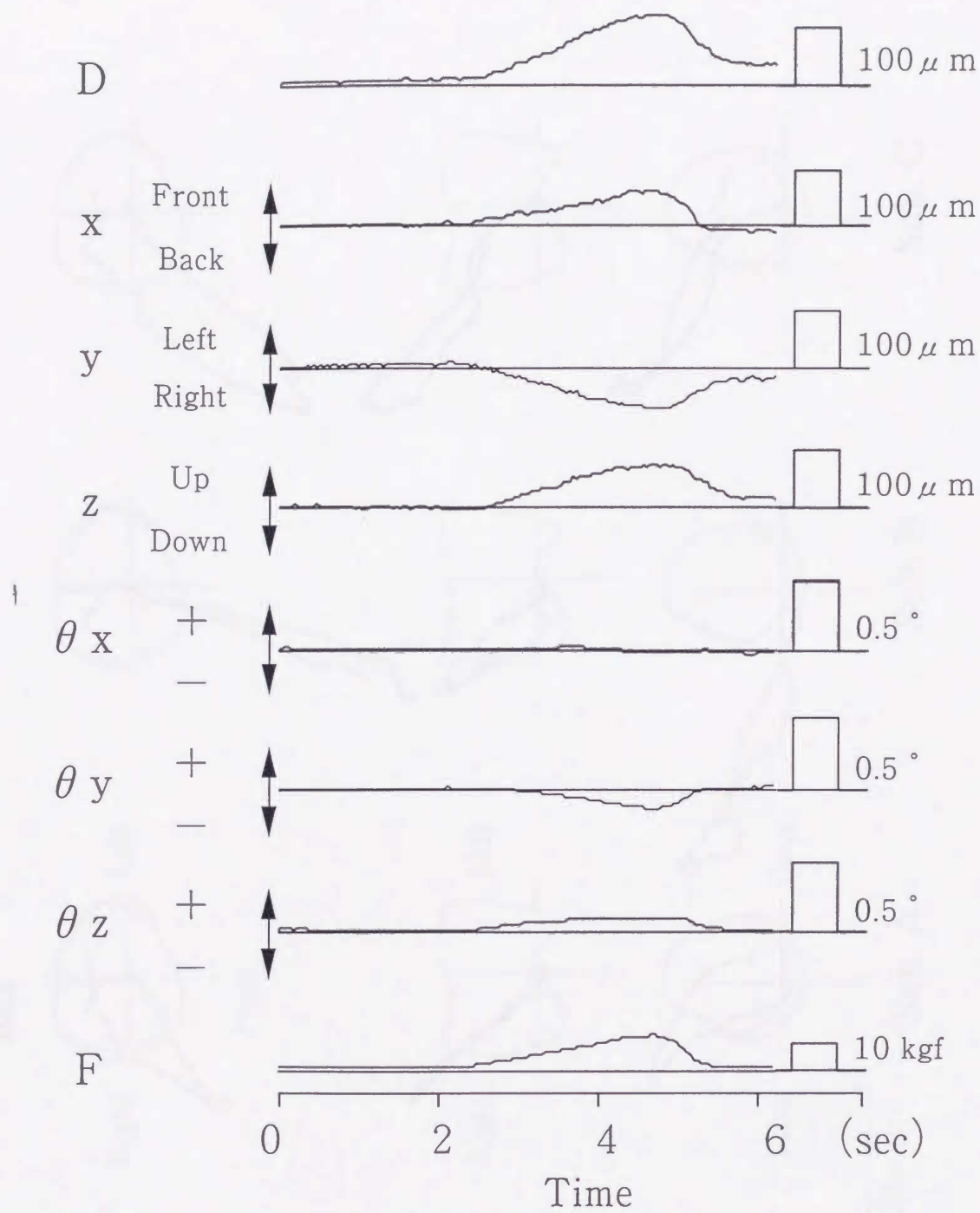


図15 Tooth movement during anterior tooth (canine) loading (Sub. A)
 前方歯咬合力負荷時の歯の運動 (被験者A)

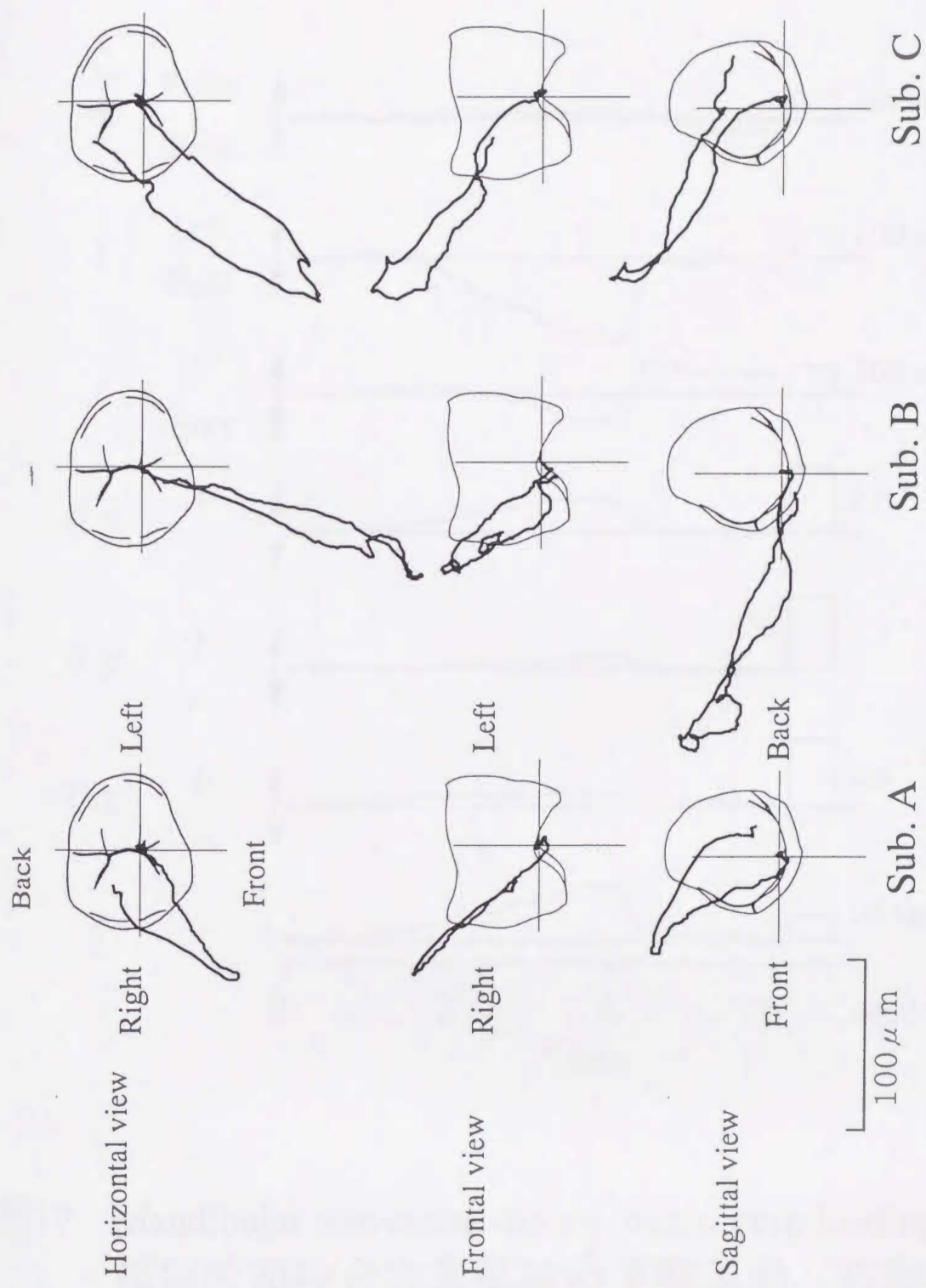


図16 Tooth movement tracks during anterior tooth (canine) loading (projections)
 前方歯咬合力負荷時の歯の運動経路 (三平面投影図)

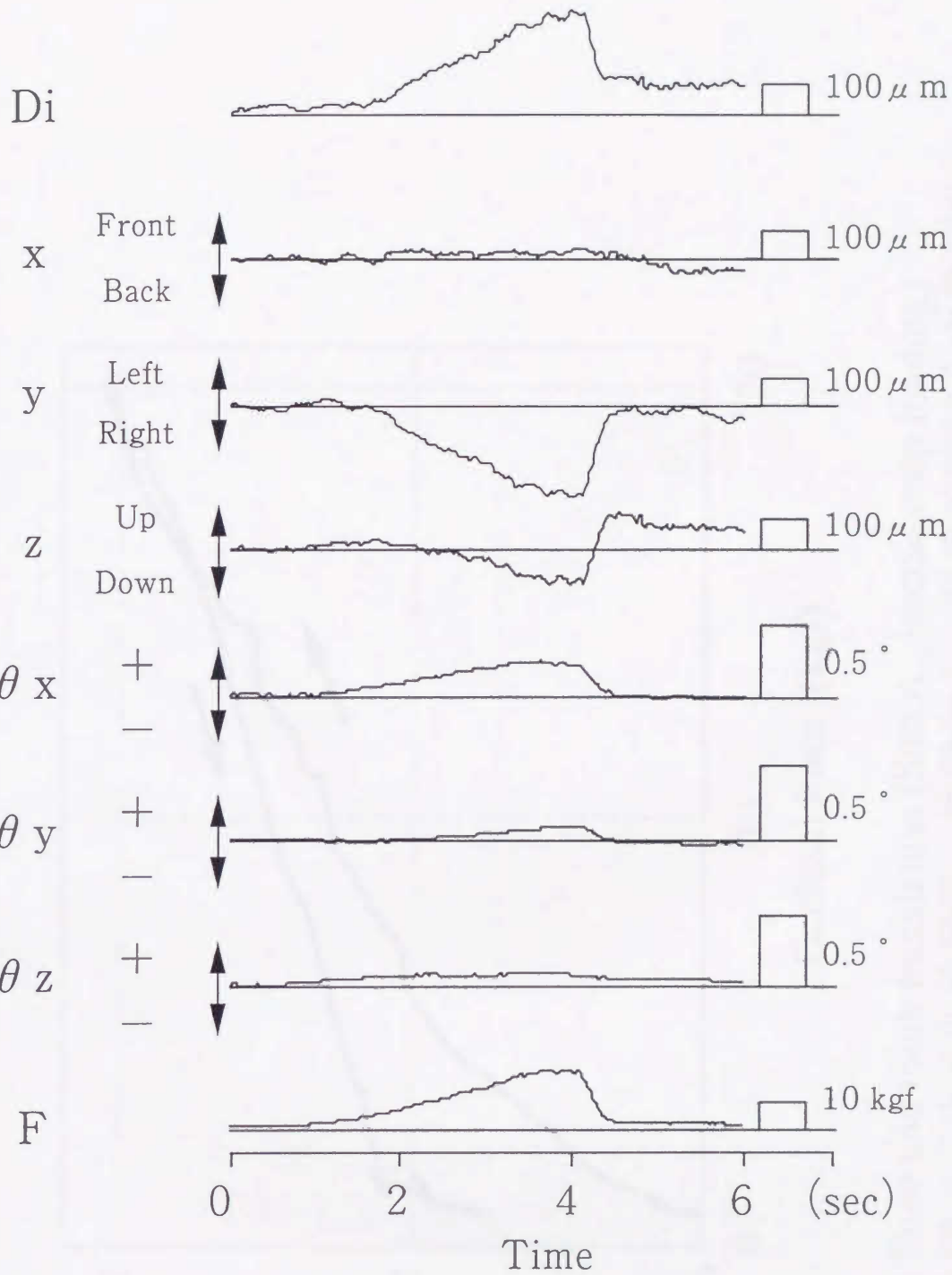


図17 Mandibular movement during buccal cusp loading (Sub. A)
 頬側咬頭咬合力負荷時の下顎運動 (被験者A)

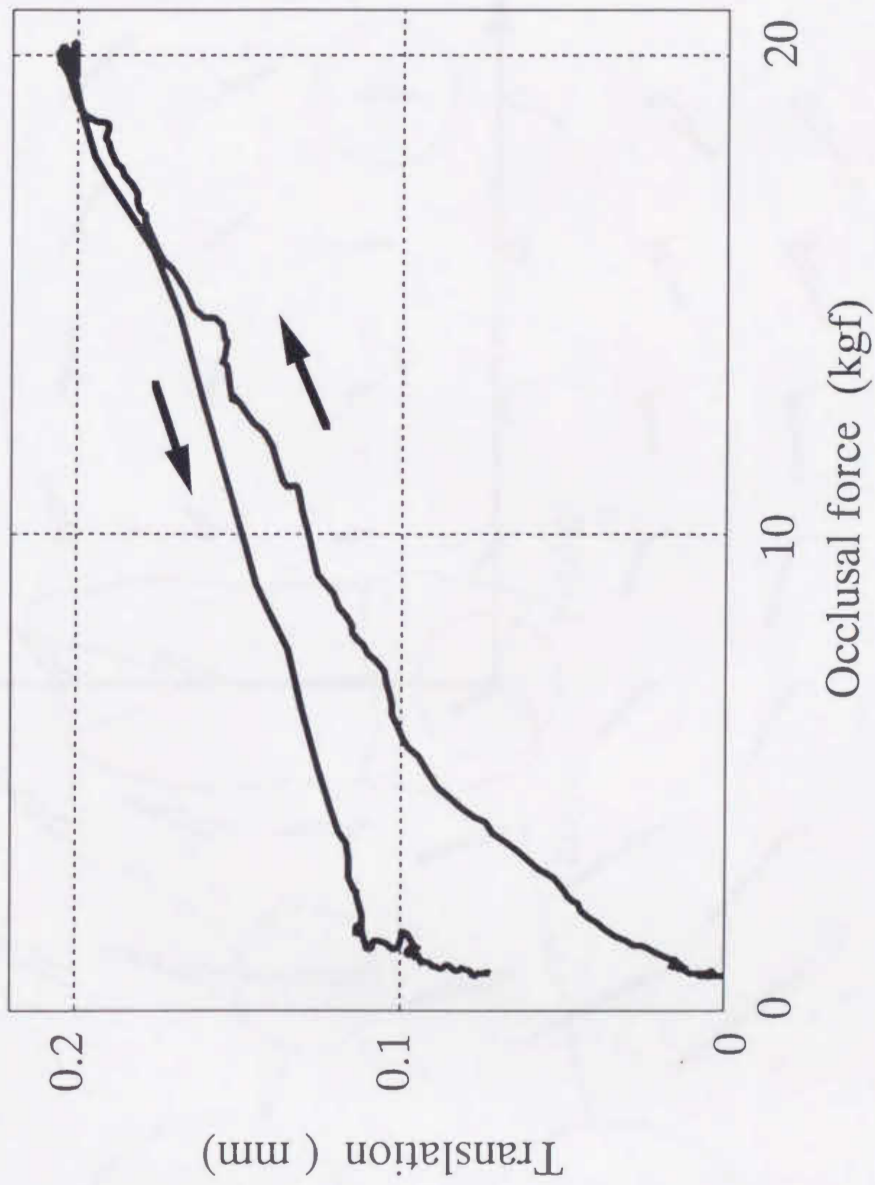


図18 Occlusal force and tooth translation (Sub.A, buccal cusp loading)
咬合力と歯の三次元的移動量 (被験者A, 頬側咬頭咬合力負荷時)

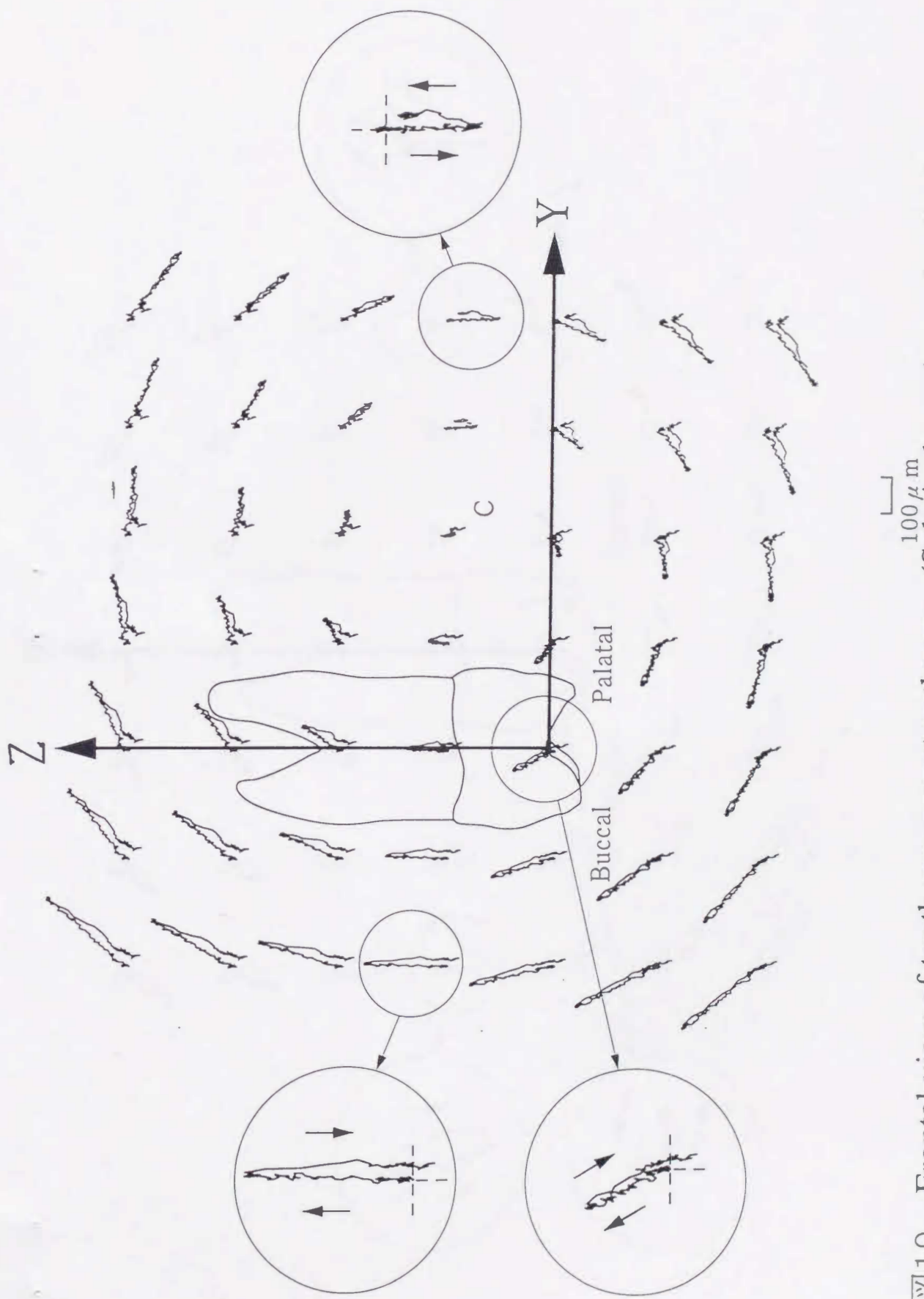


図19 Frontal view of tooth movement pathways (Sub.A, buccal cusp loading)

C: The center of rotation
 Cross line represents initial points

前頭面内における歯の運動経路 (被験者A, 頬側咬頭咬合力負荷時)

C: 回転中心
 十字は運動開始点

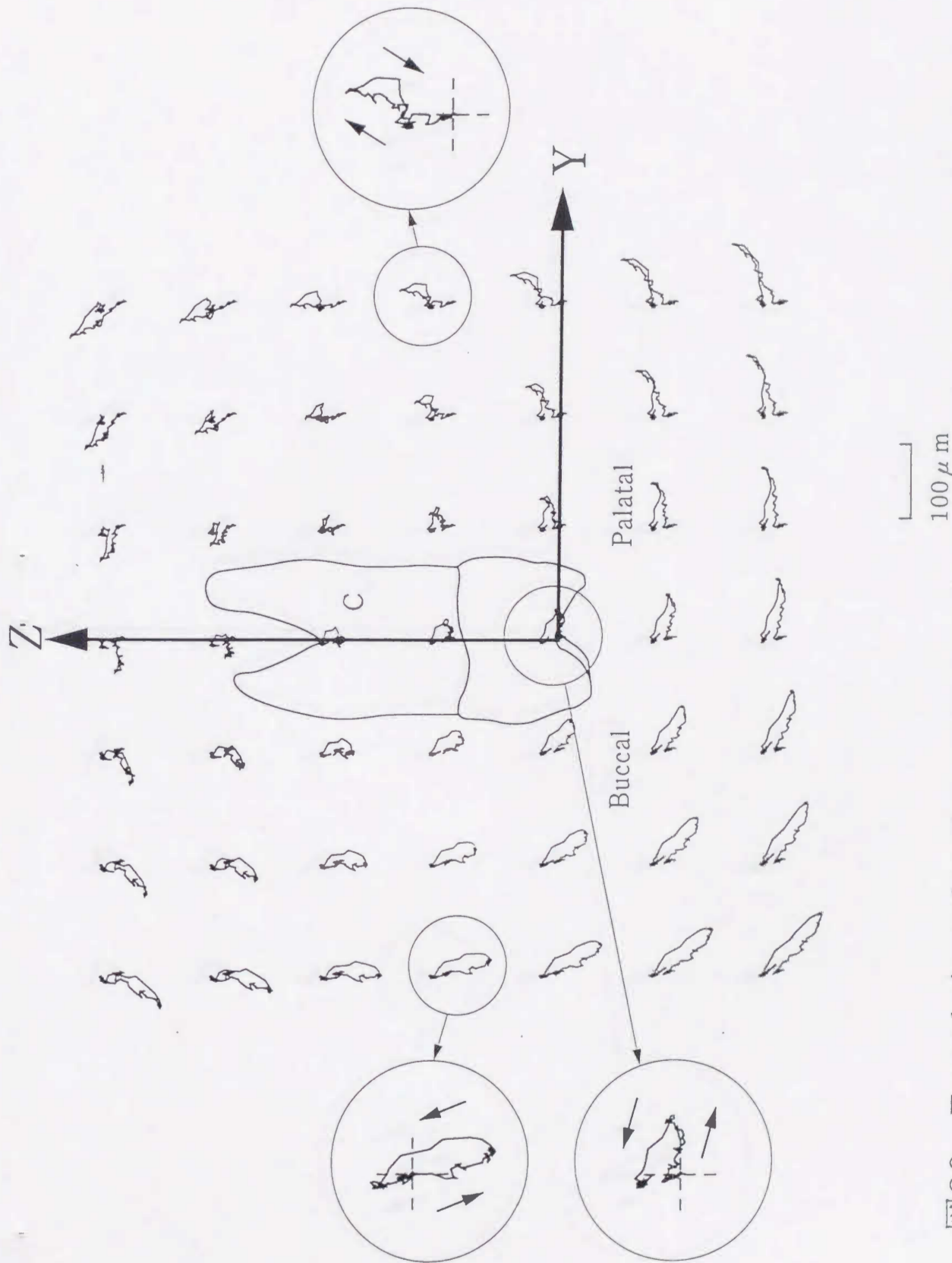


図20 Frontal view of tooth movement pathways (Sub.A, palatal cusp loading)

C: The center of rotation

Cross line represents initial points

前頭面内における歯の運動経路 (被験者A, 舌側咬頭咬合力負荷時)

C: 回転中心

十字は運動開始点

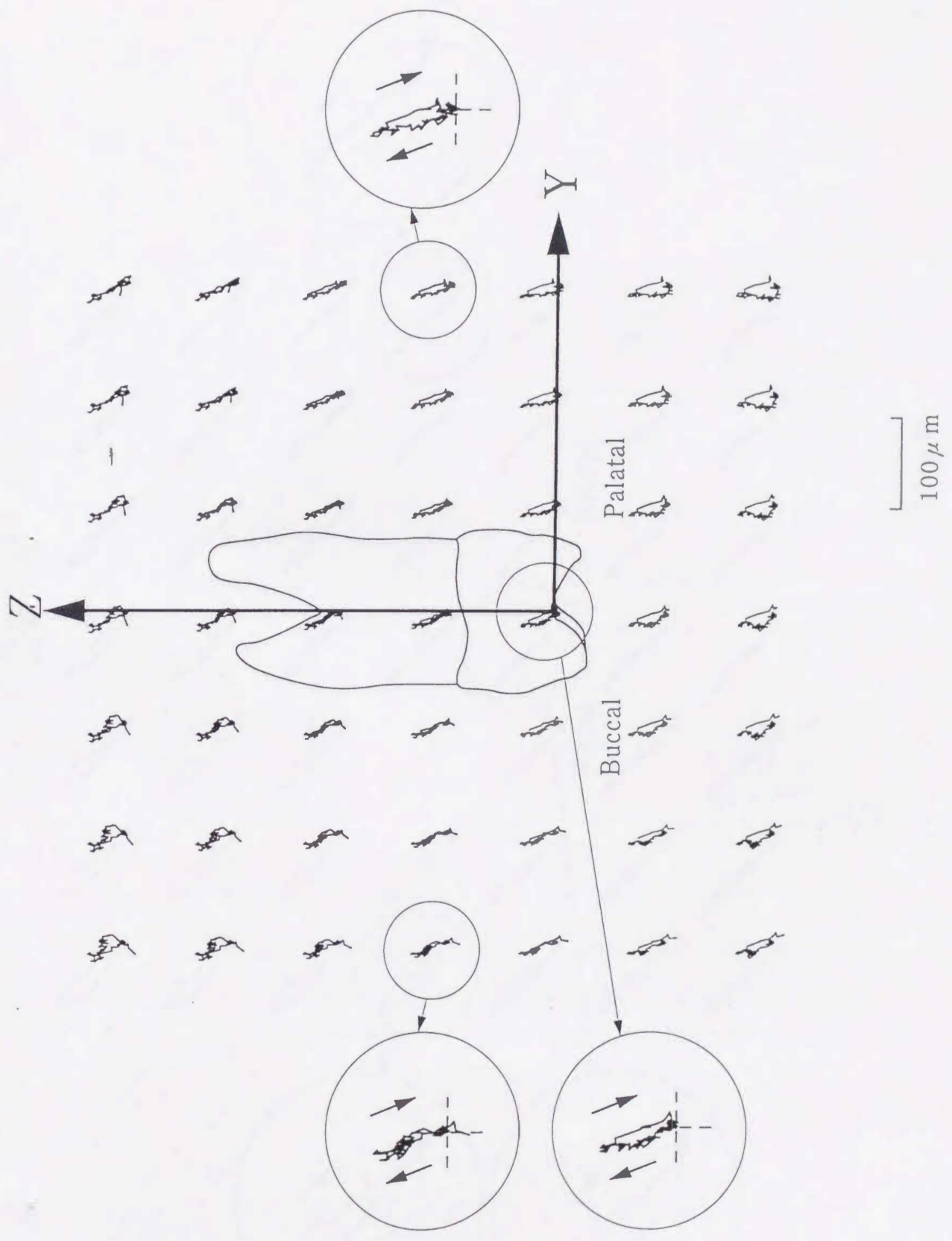


図21 Frontal view of tooth movement pathways (Sub.A, central fossa loading)
 Cross line represents initial points
 前頭面内における歯の運動経路 (被験者A, 咬合面中央部咬合力負荷時)
 十字は運動開始点

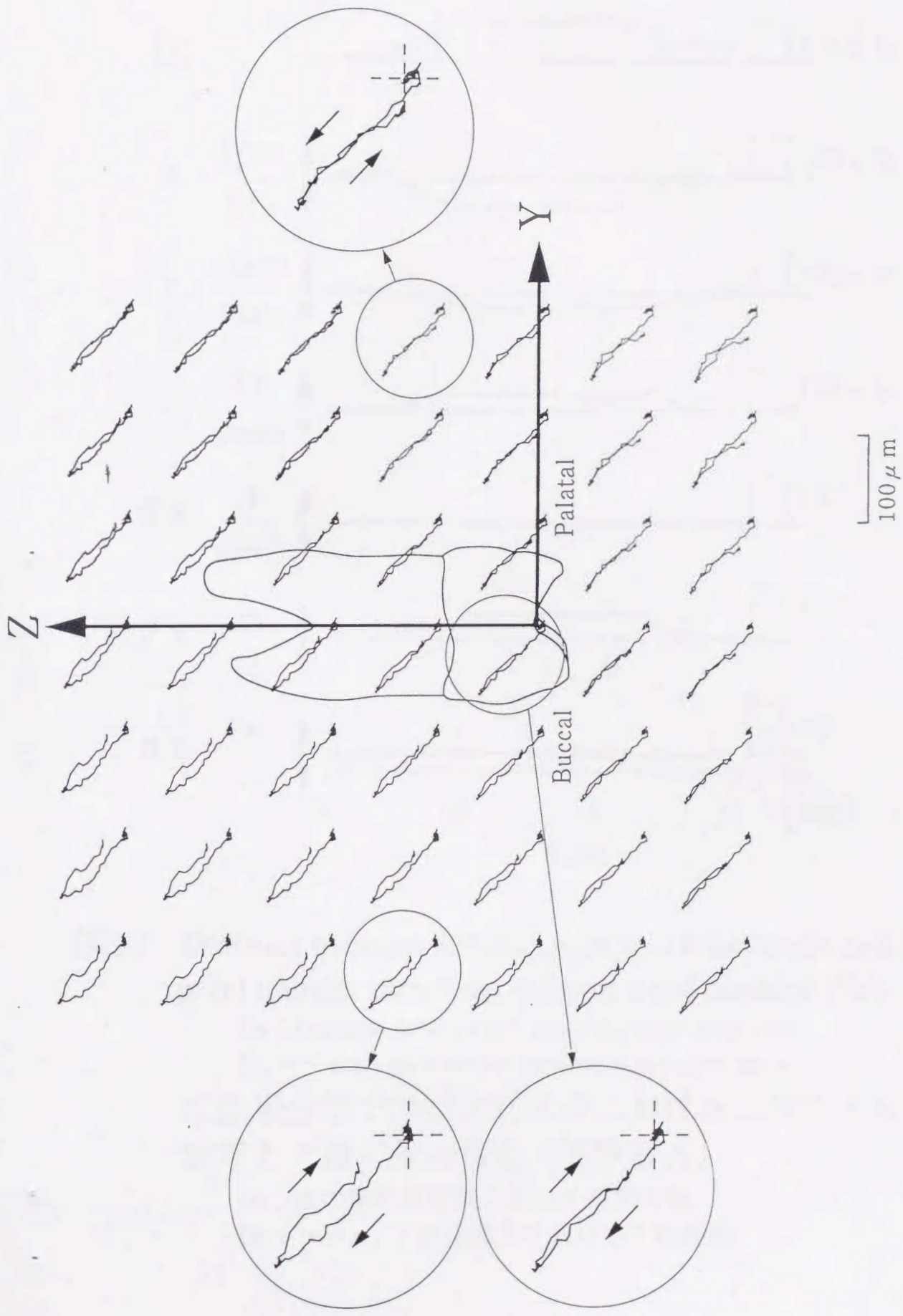


図22 Frontal view of tooth movement pathways (Sub.A, anterior tooth (canine) loading)

Cross line represents initial points

前頭面内における歯の運動経路 (被験者A, 前方歯咬合力負荷時)
十字は運動開始点

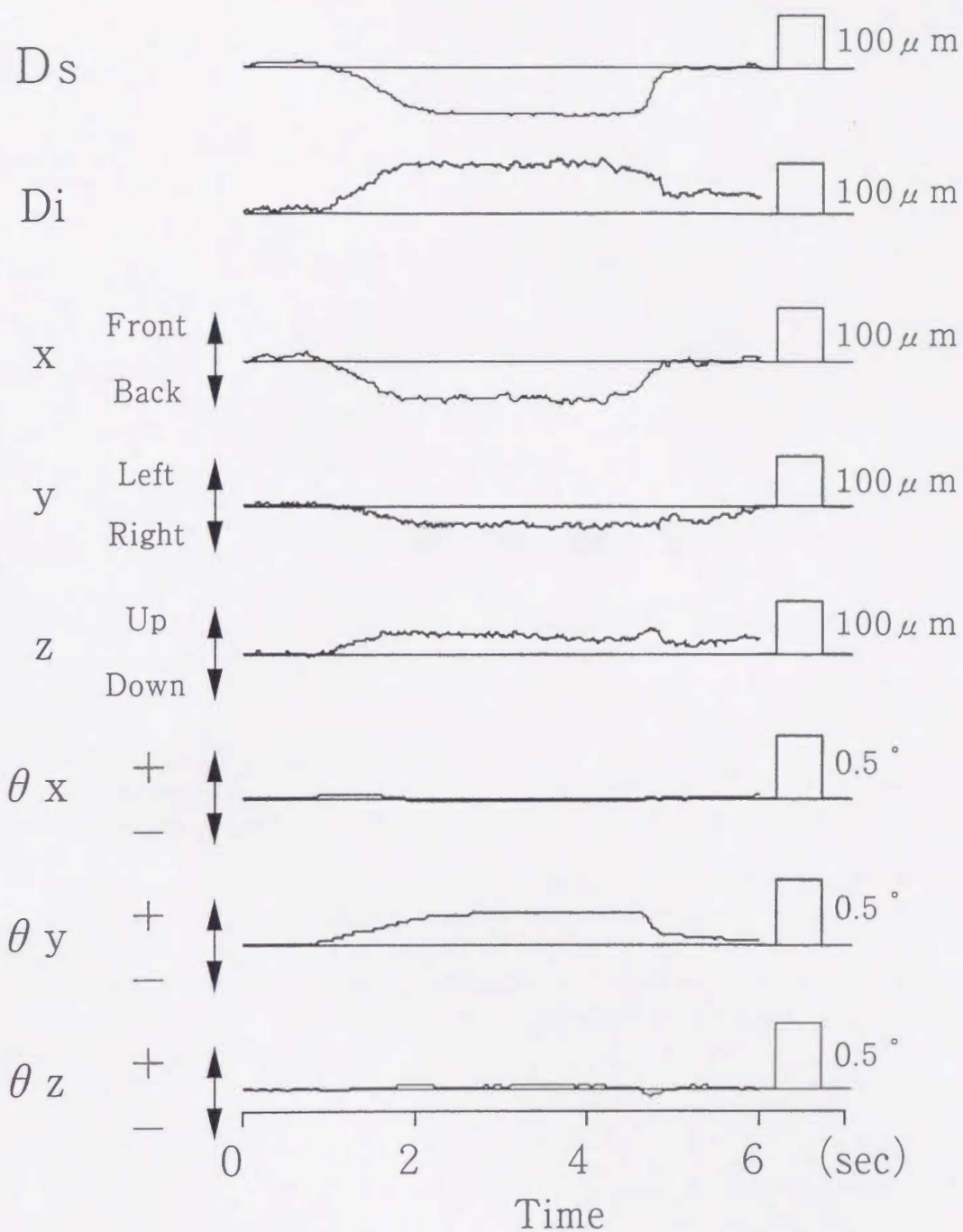


図23 Distance between left and right secondary coils and incisal point transfer clenching in intercuspal position (Sub. A)

D_s : Distance between left and right secondary coils

$D_i, x \sim \theta_z$: mandibular movement at incisal point

咬頭嵌合位での咬みしめ時における二次コイル間距離と下顎切歯点移動 (被験者A)

D_s : 歯の運動測定用二次コイル間距離

$D_i, x \sim \theta_z$: 下顎切歯点における下顎運動

参 考 论 文

[Faint, illegible text, likely a list of references or a table of contents]



様式6

論文審査の結果の要旨

報告番号	① 乙	歯学 134 号	氏名	薩摩登誉子
審査委員	主査	坂東 永一	②	
	副査	浅岡 憲三	③	
	副査	市川 哲雄	④	

題目

上顎第一小臼歯の運動の6自由度測定と解析

要旨

顎運動の解析では歯列を剛体として扱うことが多く、歯列形状データと顎運動データを組み合わせて側方滑走運動や咀嚼運動等の咬合接触を推定すると咬合面の咬み込み像として観察されることがある。実際に口腔内では歯は歯周組織を緩衝材として運動しており、顎口腔機能に調和した咬合面形態を設計する際、これらの顎運動データとともに個々の歯の運動についても測定、解析する必要がある。顎運動測定については既に6自由度測定器が普及しているが歯の運動を6自由度で測定可能な機器は今までなく、歯の動きを立体の運動としてとらえることができなかった。本研究では磁気空間を応用した高分解能6自由度運動測定器を用いて咬合力負荷時における上顎第一小臼歯の歯の運動を測定、解析し、顎運動測定についても同時測定を行うことで検討を加えた。測定器の平行移動分解能は $1.3 \mu\text{m}$ 、回転運動分解能は 0.00017° であり、歯の運動を測定するのに十分な精度を満たしていた。被験者は顎口腔系に異常を認めない3名の成人男性で、上顎右側第一小臼歯を被験歯として上顎左側第一小臼歯に対する歯の運動を測定した。運動は咬合力計を介在させたときの咬みしめと咬頭嵌合位における咬みしめの2種類について行った。

被験歯の咬合面中央部に設定した解析点は、咬合力を負荷したときに 1 kgf (9.8N) あたり数 μm から十数 μm 移動していた。運動は6自由度データであるので解析点以外の任意の点についても観察可能であり、咬合力を負荷する方向によっては回転中心が歯の近傍にある場合とない場合があった。歯の運動を6自由度測定することで直接観察することのできない部位での運動を解析することが可能であり、その測定データには多くの有用な情報が含まれていると考えられる。

以上、6自由度運動測定器を用いて歯の運動と顎運動を6自由度で同時測定することが可能となったことで、咬合接触時における咬合面の接触関係を解明し、理想的な咬合面形態設計のための多くの知見が得られると期待でき、歯学の発展に貢献するところ大であり、博士(歯学)の学位授与に値するものと考えられる。