

切傷のメカニズム解明

株式会社 LIXIL

1. 目的

日常生活の中で様々な商品において手を切ったなど、商品の角や稜線が何らかの理由で鋭利になっていたことに起因する事故事例が報告されている。これらは、鋭い形状の物に手や指を大きく動かしたときに生じる切創のケガと考えられる。製品の角・稜線によって切傷は重度が低いため、発生件数や発生状況などの詳細な情報は把握されていない。そのため、どのような条件で切傷が発生するのかといった、切傷と角・稜線の特徴との関係は未解明である。

稜線の安全性基準については、鋭さ評価としてUL規格（シャープエッジテスター）が一般的に使用されているが、実際のケガの発生しやすさとの対応は不十分である。また、衝撃等を考慮した安全性評価としては十分ではない。実際のケガの発生しやすさの判断は、官能検査評価等との対応で判断しているのが現状であり、試験機での評価方法の確立が急務の課題である。

稜線・角に特有の切傷発生は、製品の角・稜線の形状、材質、人間の動的作用で発生状況が変わるため、それらの条件に配慮して切傷との関係を明らかにする必要がある。本プロジェクトの目的は、昨年度のプロジェクトで開発したスクラッチ試験機で、ケガの発生しやすさの程度が官能評価などで明らかになっている試験体を試料として、人体皮膚の代替物（模擬指部）を検知体とした切傷試験を行い、これらの対応を検討することである。

具体的には、子どものケガと角・稜線の安全性の評価手法を確立するために、ガラス製品の不良部および金属のC/R面取り寸法が既知である標準試料を対象として、ケガの発生しやすさ（官能評価点）と対応する試験条件を抽出する。さらに、これらの試験条件における切傷の大きさと力学的関係を明らかにする。

2. 実施方法

図1に、スクラッチ試験機の全体図を示す。試験機は幅440[mm]、奥行き140[mm]、高さ400[mm]である。3分力計の下部に各種の障害物を取り付ける治具を用意した。

本報では金属のC/R面取り寸法が既知である標準試料を取り付けるための治具およびガラス製品のエッジ部を任意の角度でセットできる治具を開発して試験に供した。また、電動スライダの駆動部に設置する人体皮膚の代替物（模擬指部）である検知体を取付けるように改良を行った。

図2、図3に、試験体と模擬指部の関係を示す。試料の設置は、上部の回転角を調整して試験体（ガラス製品）面の最も鋭いエッジ部が模擬指部に接触するように行う。試験体が垂直方向に下がり模擬指部に接触した後、スライド駆動して切傷させる。試験体の稜線エッジで模擬指部を押さえ（負荷を与え）、左右にスライドさせる事により、切傷を生じさせる。

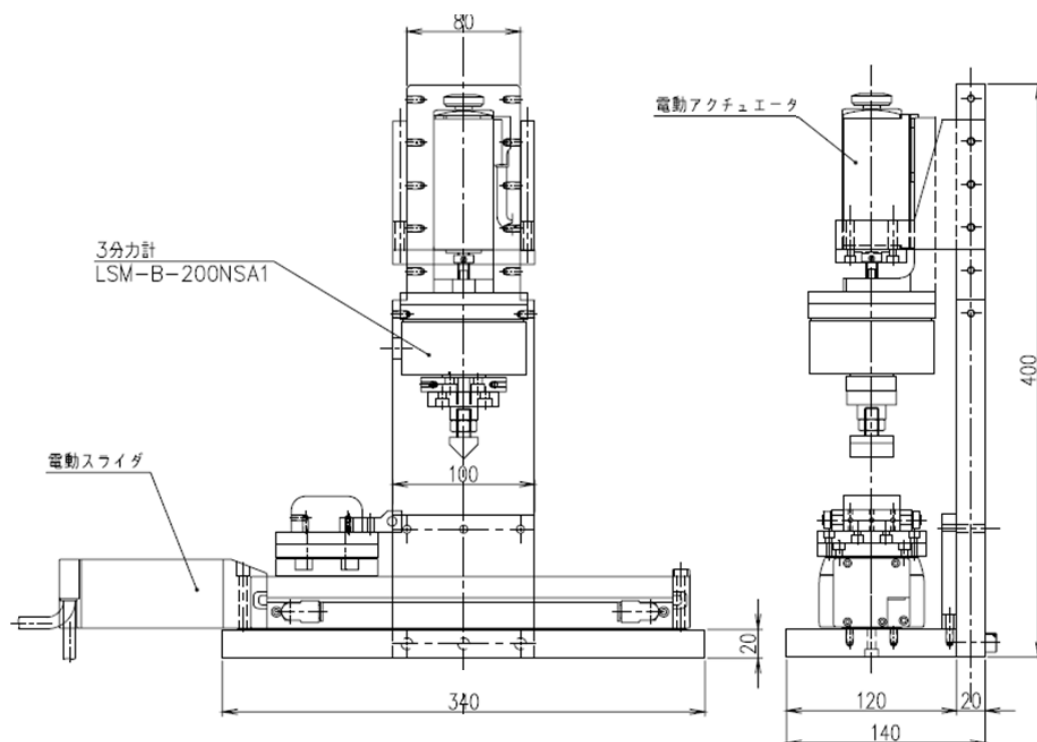


図1 切創発生評価用のスクラッチ試験機

試験体の稜線のエッジ部は、先端の開き角 θ と先端の面形状(C/R)に、電動アクチュエータで垂直に押した時の変位 $U(\text{mm})$ を与えから、水平に電動スライダで負荷させる。

このときの垂直力 F_z 、スライドさせるときの摩擦力 F_y を計測する。計測系は、力の応答(F_z , F_y , F_x)とスライドの移動距離(D)の時系列変化を得る。力として、押込み方向の垂直の力 F_z 、水平方向の力 F_y 、左右の力 F_x がそれぞれ指先に伝達される。

この力の集中部における皮膚が受ける応力は、各軸の垂直応力 σ_x , σ_y , σ_z 、と3方向のせん断応力 τ_{xy} , τ_{xz} , τ_{yz} であり、それらから生じる最大せん断応力が皮膚の破損限界を超えた時に切傷が生じると考えられる。

スライド方向の稜線の細かい凹凸も切傷に大きく影響することが予想される。

また、皮膚は柔らかくポアソン比が0.5に近く非圧縮性固体である事や粘性弾性的挙動が試験に影響する。

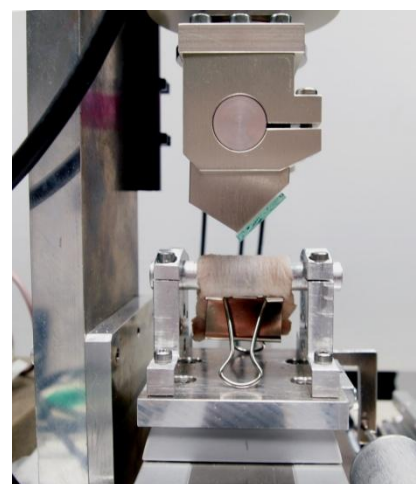


図2 スクラッチ試験機

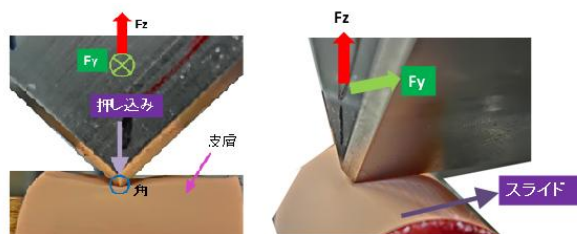


図3 指と稜線部の接触状態

図4に、切傷試験の力学的応答の様相を示す。

切傷試験では、初めに押込み変形を行う。電動アクチュエータで定速負荷を与えると荷重 F_z は増加する。これは押込み試験と同じ挙動で、垂直変位の増加とともに力 F_z は増し（赤線）、所定の位置で止まると粘弾性の特徴の応力緩和が現れる。

次に水平負荷を電動スライダ設定の位置まで与えて、停止する。このときの3分力の応答は水平移動距離の増加とともに増加していく傾向がある。図では F_z 、 F_y 、 F_x を色分けして示した。この応答の特徴に、鋭いエッジの場合は摩擦力の横方向の切削力が小さく容易に切傷が生じる例などがあり、切削加工時の挙動に似ている。

これらの切傷試験の力学的応答挙動の結果から、押込みやスライドに対する切傷の発生挙動が再現されており、本試験機が切傷の発生しやすさを評価する試験機の基本構造として妥当であると判断した。

図5に、スクラッチ試験システムの概要を示す。駆動部は電源、コントローラ、ドライバ、モータスライダから構成され、ソフトによって出力されたコマンドに従って、スライダをスライドさせる。計測系としてモータスライダの水平方向変位を計測する変位計、三方向の力が測定できる三分力計を設置しており、それらをレコーダに集録して、データを計測する。

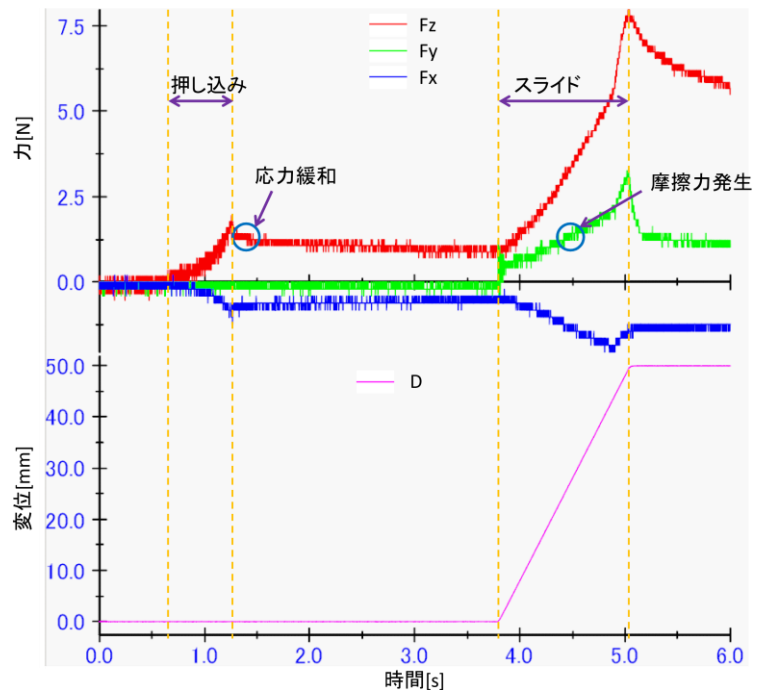


図4 切傷実験の力学的応答

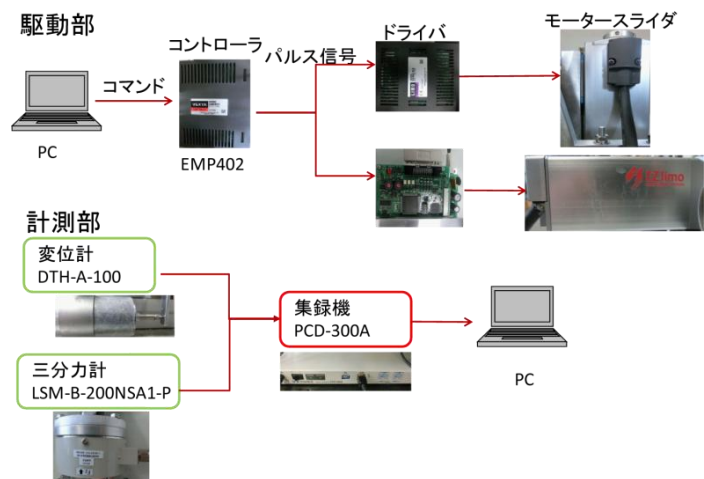


図5 スクラッチ試験システム

3. 結果と考察

3.1 標準サンプルを試験体としたスクラッチ試験における試験条件の検証

2. で妥当であると判断した基本構造の試験機を用いて、切傷の発生しやすさを判断できる試験条件を抽出することを目的として、金属のC/R面取り寸法が既知である標準試料を用いて、接触力（押込み力）と傷寸法の関係を検証し、さらに、ガラス製品の官能評価点と対応の良い試験条件を抽出した。

3.1.1 模擬指部の材質の違いの検討

昨年度は皮膚の模擬試料として豚の皮を用いて試験を行っていたが、標準試料の官能評価結果と対応が悪いため、金属のC/R面取り寸法が既知である標準試料を用いて、切傷の寸法と模擬指部の材質の違いを調べた。結果を図6に示す。

縦軸は切傷の幅(mm)と押し込み力(N)の関係で、豚の皮(腹部で厚さ3mm程度)と黒色の検知体(薄層クリーンフォーム P206UL で厚さ1mm)で細長い傷が生成される。

試験結果から、傷の寸法は押し込み力に比例するような関係があり、両検知体の勾配が異なり、傷生成の感度が違う事が分かった。また、両検知体の傷の様相写真を示す。

以後の検討では、傷の発生が容易に起こり(感度が高く)微細な傷が検出できる検知体 P206UL を用いることとした。

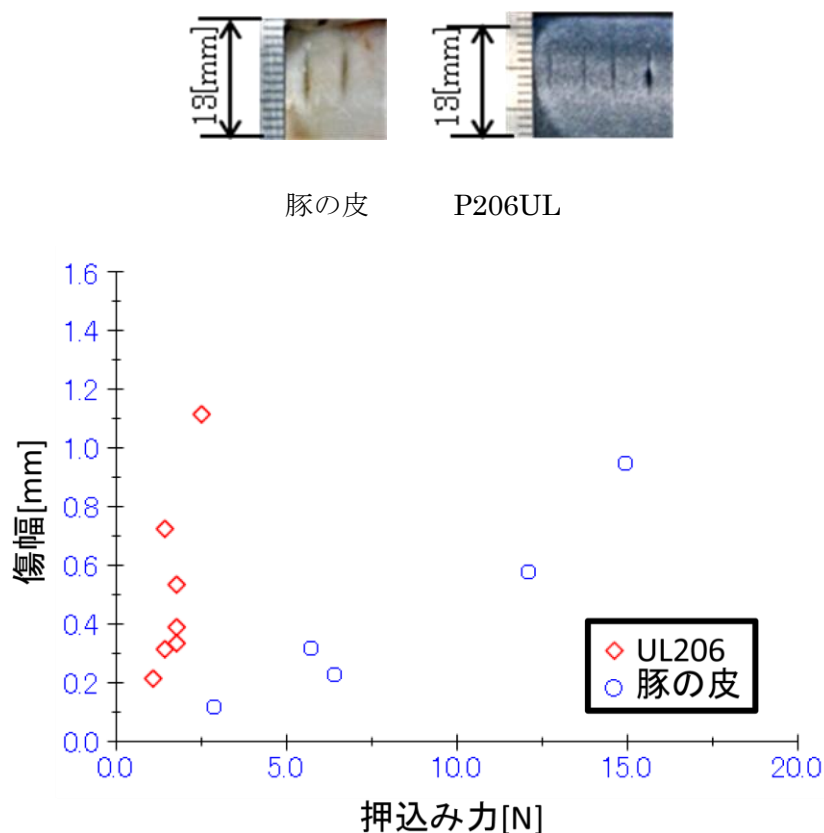


図6 検知体の違いによる切傷の寸法と押し込み力の関係

3.1.2 金属のC/R面取り寸法が既知である標準試料におけるC値の違いの評価

C0.1とC0.5のサンプルを用いて切傷生成試験を行った。

検定用C面を用いたスクラッチ試験による傷の寸法と押し込み力の関係を図7に示す。図には大小の傷の様相写真も付けてある。C0.1とC0.5いずれにおいても、押し込み力と切傷の幅は、おおむね正の相関が認められたが、2つの試験体を明確に区別できなかった。また、C0.5では傷の寸法0.8mm以下では比例関係がやや小さい。これは付図の写真から分かるように検知体(P206UL)は切傷試験の跡が明瞭に残され、C0.5面で広い平行部のため擦れるだけで傷になりにくいと考えられる。

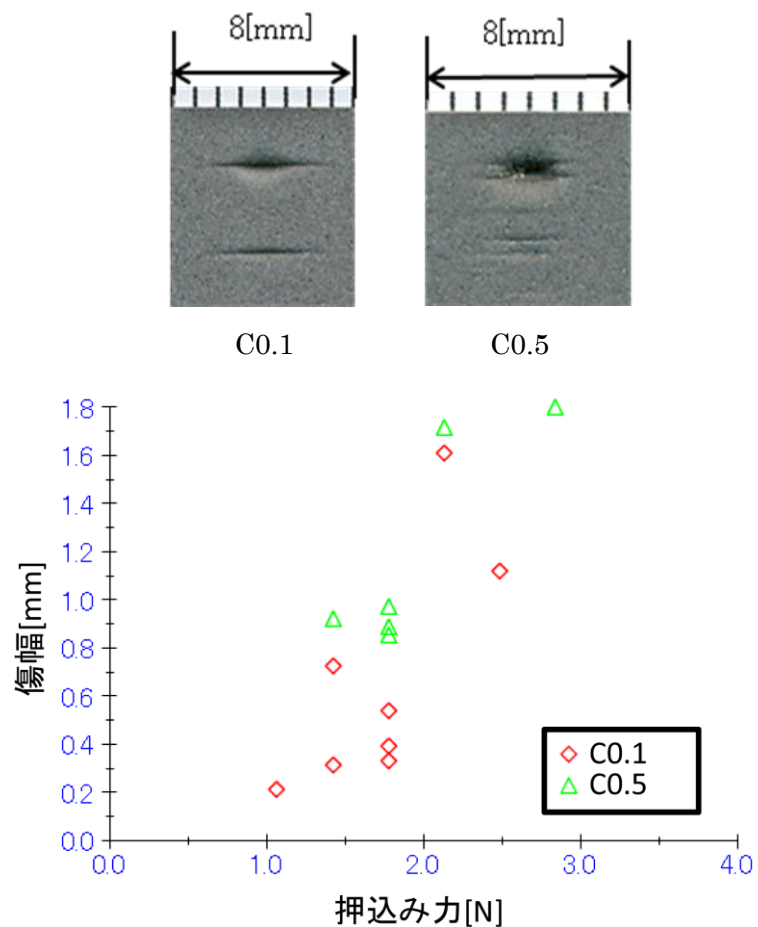


図7 検定用C面の違いによる切傷の寸法と押込み力の関係

3.1.3 金属のC/R面取り寸法が既知である標準試料におけるR値の違いの評価

R0.3とR0.6のサンプルを用いて、切傷生成試験を行った。

検定用R面取り試料を用いたスクラッチ試験による傷の寸法と押込み力の関係を図8に示す。図には大小の傷の様相写真も付けてある。

R0.3とR0.6いずれにおいても、押込み力と切傷の幅は、おおむね正の相関が認められたが、2つの試験体を明確に区分できなかった。ただし、R0.6の写真から傷の幅は大きめになるが長さは短い。傷の生成には面取り寸法も重要であるが、ある程度押込み力の関係と傷の形状も評価基準の因子になりそうである。

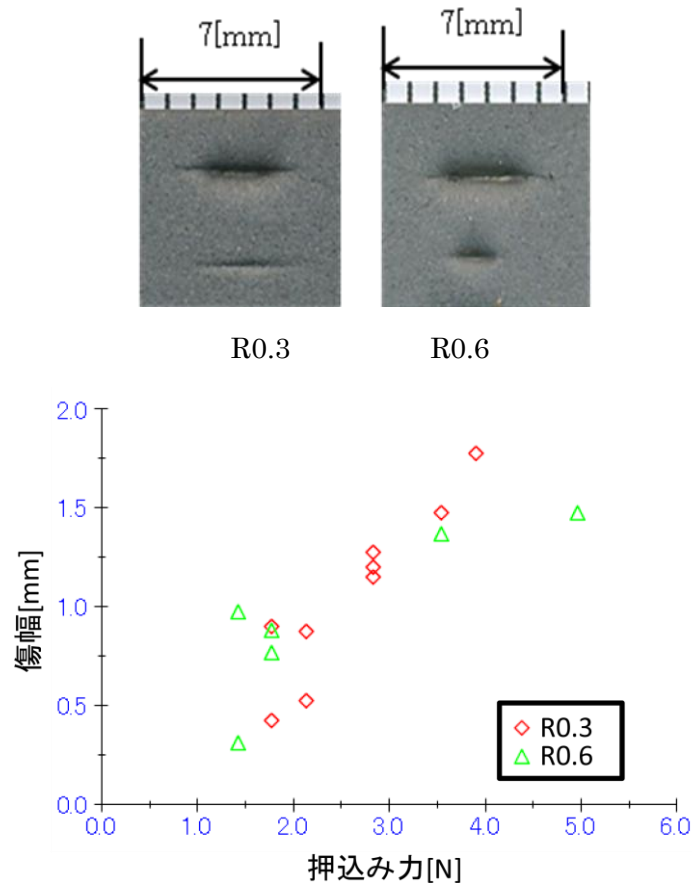


図8 検定用 R 面の違いによる切傷の寸法と押込み力の関係

3.1.4 ガラス製品の官能評価値との対応の検討

官能評価値が既知で異なる 3 種類の試料を試験に供した。

図 9 に官能検査評価の指標をパラメータとした切傷の寸法(mm)と押込み力(N)の関係を示す。

切傷の幅(mm)と押込み力(N)の関係で、傷の寸法は押込み力に比例するような関係が、官能指標の 3 サンプルで認められ、官能評価値に応じて回帰式が異なる事が明示された。

このことから今回の試験範囲ではあるが、官能検査評価値と試験機での評価値とが対応していることが認められる。

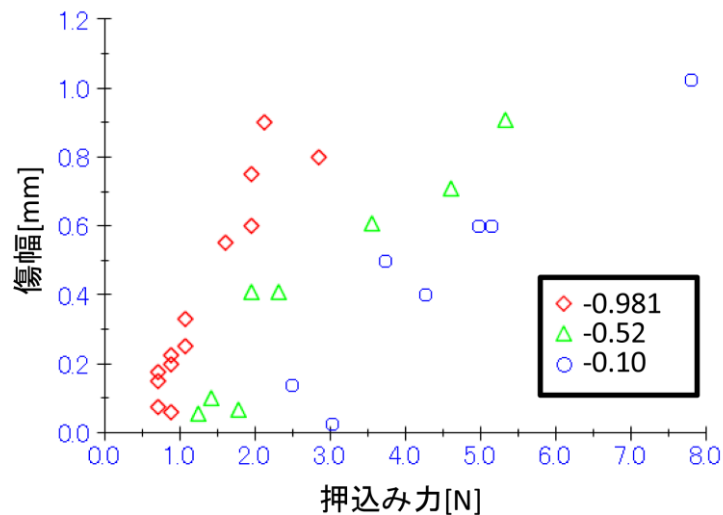


図9 官能検査評価の違いによる切傷の寸法と押込み力の関係

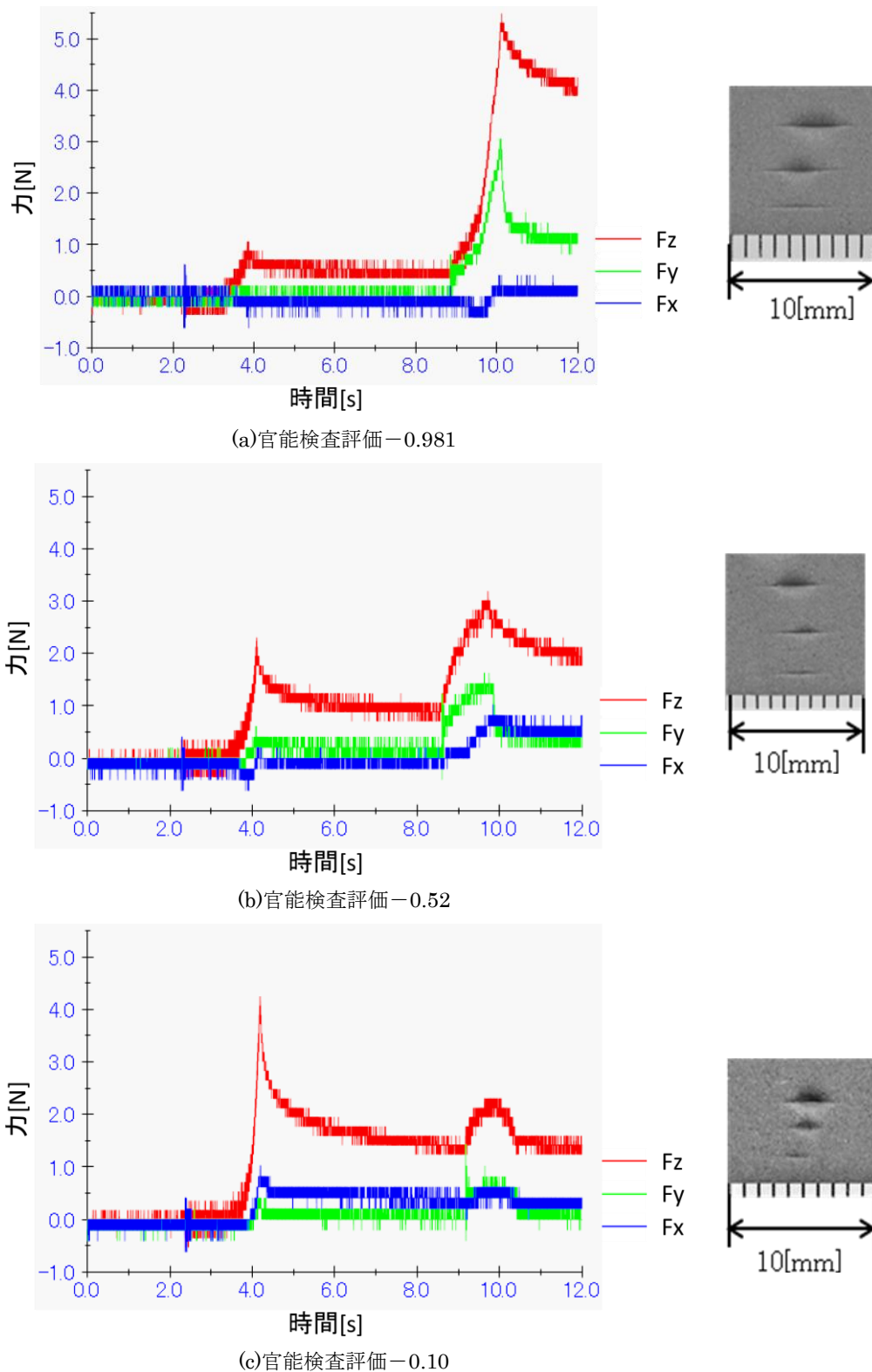


図10 官能検査評価した切傷試験の力の時系列変化

傷

官能検査評価の指標については人間の皮膚の変形（滑り、硬さ、柔らかさ、粘性、粘着性）といった触覚情報を検出されているから、ガラス製品の不良品とされる稜線の鋭さの指標に対する力学応答の詳細の一部を示す。

図10に、官能検査評価サンプルの切傷試験時の力学応答を示す。多くの計測データから傷の幅 0.3～

0.4mmを比較する。官能検査評価(a)−0.981、(b)−0.52、(c)−0.10である。右側に切傷の写真の一部を示す。

(a)から(c)では、押し込み力は約1.0N、2.0N、4.0Nと大きくなるが、スライド駆動時の動的力 F_z は約5.0N、3.0N、2.0Nと逆に小さくなる。これは官能検査評価で指を滑らしている時の微小傷の摩擦を見ると同じようにすべり変形時に検知体は食い込むことに対応して切れやすくなると推定される。

3.2 切傷試験例

稜線・角部の鋭さの評価手法を確立するために稜線・角 基準面取りサンプルや官能評価の点数のない場合で怪我の可能性のある傷害試料の切傷の評価を力学応答との関係で調べる。なお、3.2章では、検知体として豚の皮を用いる。

3.2.1 市販ガラス板の切断面の力学応答

図11に、ガラス板の角がシャープな場合と角を面取りした場合のスクラッチ試験で切傷時の力の応答を示す。(a)にガラスの角がシャープな場合、(b)にガラス板の角を面取りした場合であり、それぞれが異なる様相を示している。

切傷試験時の三分力計の時系列変化からガラスの角がシャープな場合は、切傷抵抗（水平荷重 F_y ）が小さくても傷が深く、面取りした場合は摩擦を伴い、垂直(F_z)、水平荷重(F_y)は大きく波打ち、切傷への抵抗は大きく鈍化した傷になる。

付図にはそれぞれの検知体の豚の皮の傷の様子も示しており、(a)は鋭い傷で傷を指で広げた状態の写真である。(b)は切れた後も開いた傷で力の時系列で力が増加する傾向と F_z の大きさに関係がある。硬い材料の場合は、シャープ時は簡単に切れるが、面取りを行うと切れ方が違ってくことを確認できた。

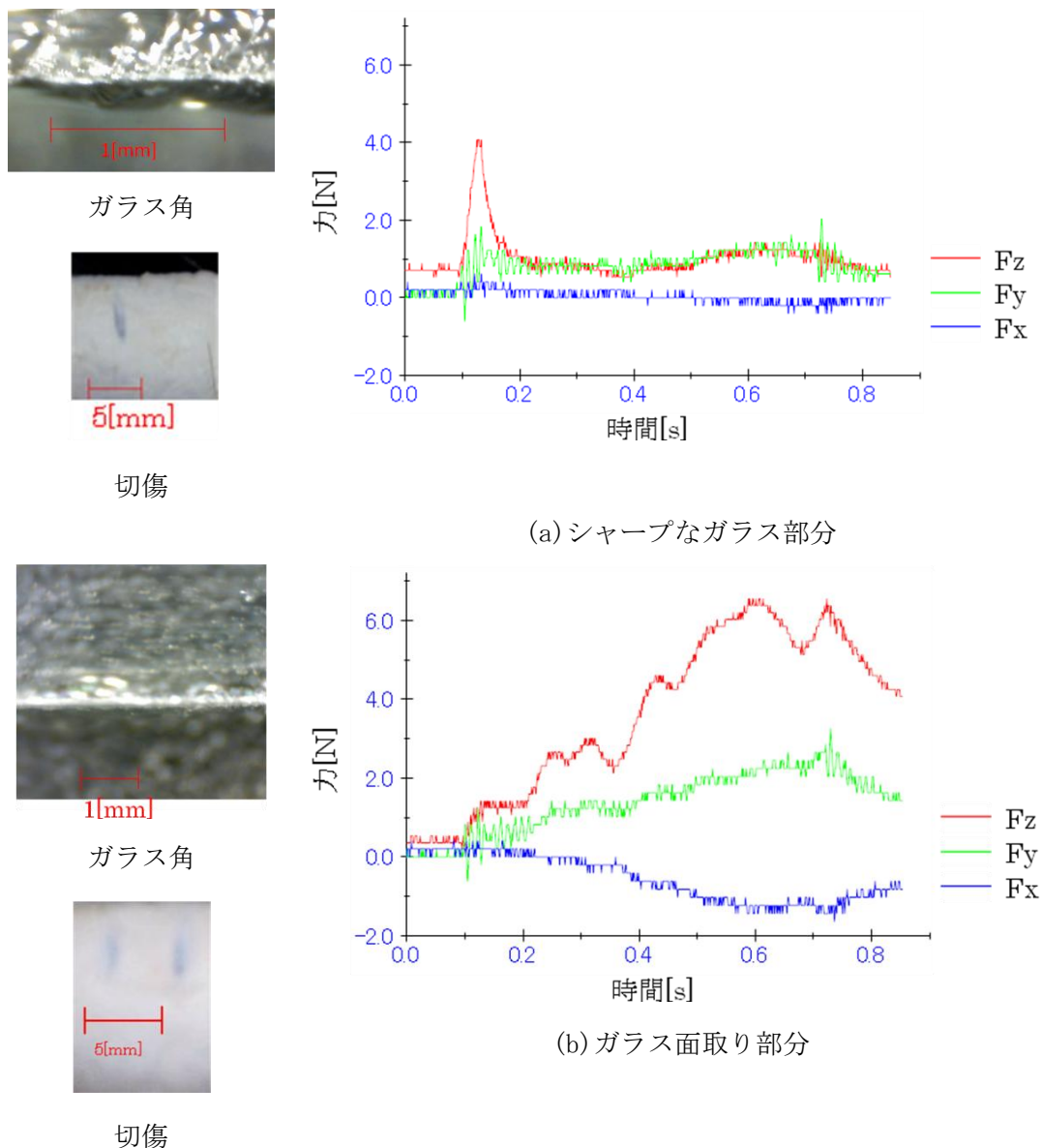


図11 ガラス切断の力の時系列変化

3.2.2 アルミ加工面の稜線の切傷の力学応答

図12にアルミ板の仕上げ加工の相違に対する切傷試験の力学応答を示す。(a)はアルミ板の端面をフライス仕上げしたものを45°の稜線部を切傷試験時、(b)アルミ板バンドソー切断した面を45°の稜線部を切傷試験時の3分力計の応答である。加工面に及ぼす比較をすると(b)の粗い加工面では大きな力が働かないと切れない。切れる場合は広い傷が現れる。面取りをすることで怪我のリスクを縮小することが確認できた。

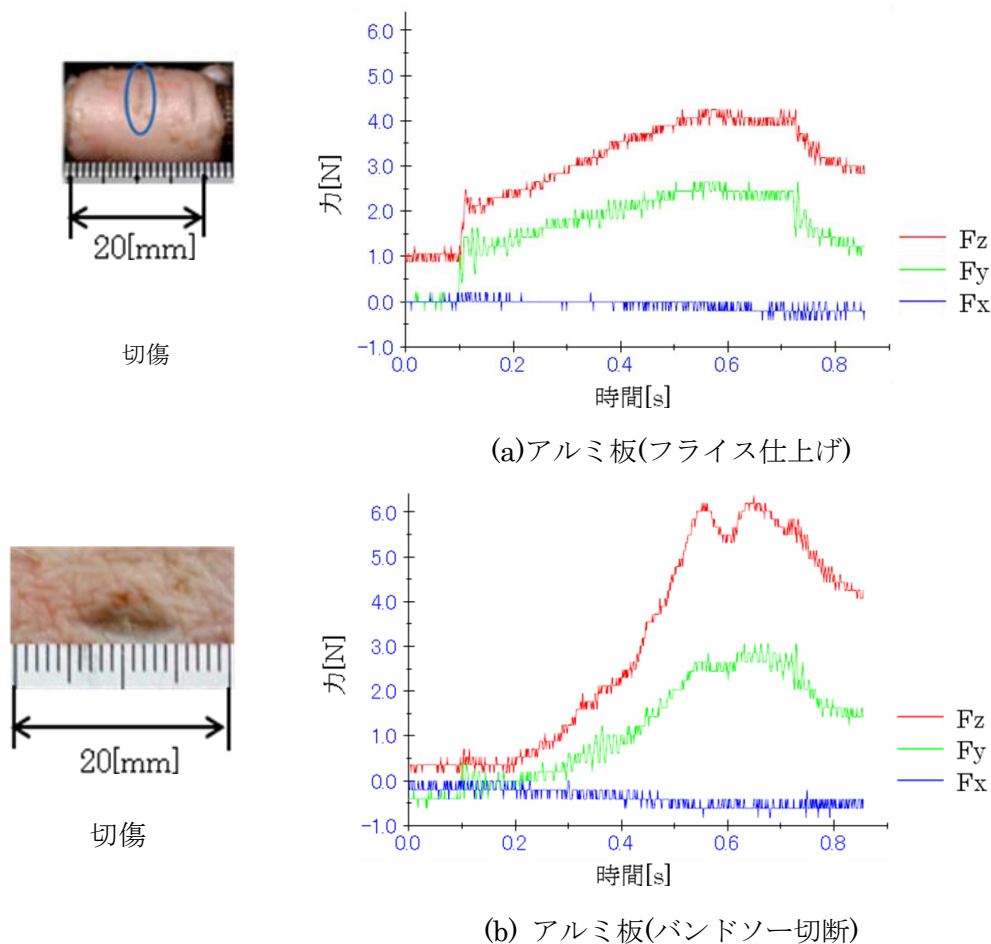


図12 アルミ板の角の力の時系列変化

3.2.3 プラスチックC面(ケガした部分)の切傷の力学応答

図13にプラスチックの板とそれによる切傷を示す。プラスチックの板の場合、垂直変位が大きく、スライド速度が高い場合のみ切傷が生じた。大きな力を受けると怪我をすることから、切傷と稜線の関係は切れにくい時においても、力の規定が必要と思われる。

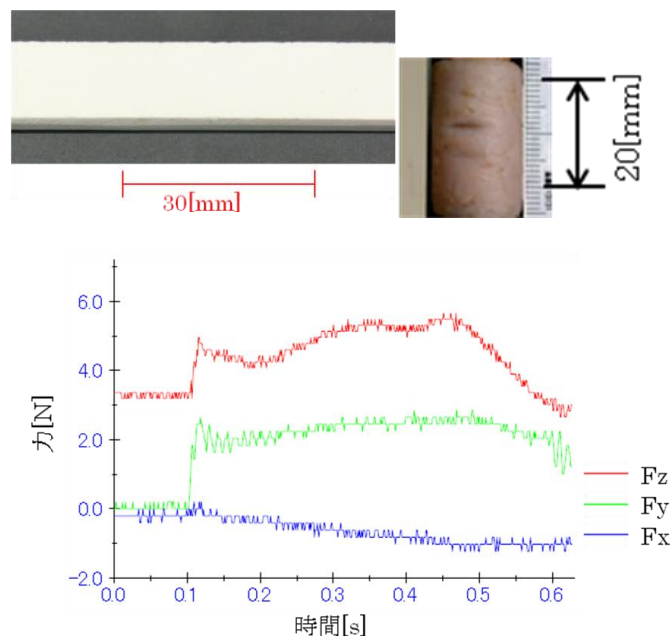


図13 プラスチックの角の力の時系列変化

4. 今後の展望・展開

今年度のプロジェクトでは、一部の材料ではあるが、ケガの発生しやすさの目安となる官能評価値と対応する試験条件を見出すことができた。様々な材料との対応の検討が出来ておらず、これを究明して、ケガの発生しやすさと対応する性能評価試験機の開発を目標とする。

まとめ

(1) 高感度な検知体により、一部の材料(ガラス)ではあるが、官能評価の指標に対応した試験条件を見出した。ただし、その他の材料では官能評価の指標に対応した試験条件は抽出できなかった。

(2) 人体皮膚の代替物(模擬指部)の違いによる危険個所の傷の判定に違いが生じる。豚の皮では感度が悪く実状と対応する評価が出来なかった。今後は豚の皮にこだわらず様々な材料の評価が出来る検地体を究明する。

(3) 今後は、上記(1)(2)の課題を解決して切傷発生しやすさを評価できる性能評価試験機を開発する。

(4) 包丁などの商品(非常にシャープな部位)と、切ることを目的とはしていないが世の中の多くの商品に見られる鋭利な部分では、切傷発生時の力学的応答の特徴が異なることが確認できた。本試験機では、後者の評価が出来ることを目的としているため、後者を再現できる試験機の開発を行う。