

平成27年度
革新的ものづくり産業創出連携促進事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「次世代超薄板ガラスの低コスト切断を実現する
ヒートナイフによる熱切断装置の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成28年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

目 次

第1章 研究開発の概要	3
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2 研究体制	4
1-3 成果概要	8
1-4 当該研究開発の連絡窓口	10
第2章 本論	11
【1】超薄板ガラスの熱切断用Heat-knifeの開発への対応	12
【2】熱切断実験機の開発への対応	24
【3】実験機による超薄板ガラスの熱切断特性評価への対応	38
【4】試作機的设计、製作への対応	54
【5】事業化の検討	67
最終章 全体総括	74

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

情報機器や太陽電池分野で用いるガラス基板は薄板化が進んでいる。それに伴い国内では、次世代超薄板ガラスに対応する新しい加工技術開発が強く望まれている。本提案では、熱切断の「熱応力による脆性破壊」と「高ひずみ速度変形」との複合加工で、平滑な切断面を生産効率よく得ることが可能な、低価格かつ低ランニングコストで多品種少量生産に対応した低環境負荷のヒートナイフによる熱切断技術を開発し事業化する。

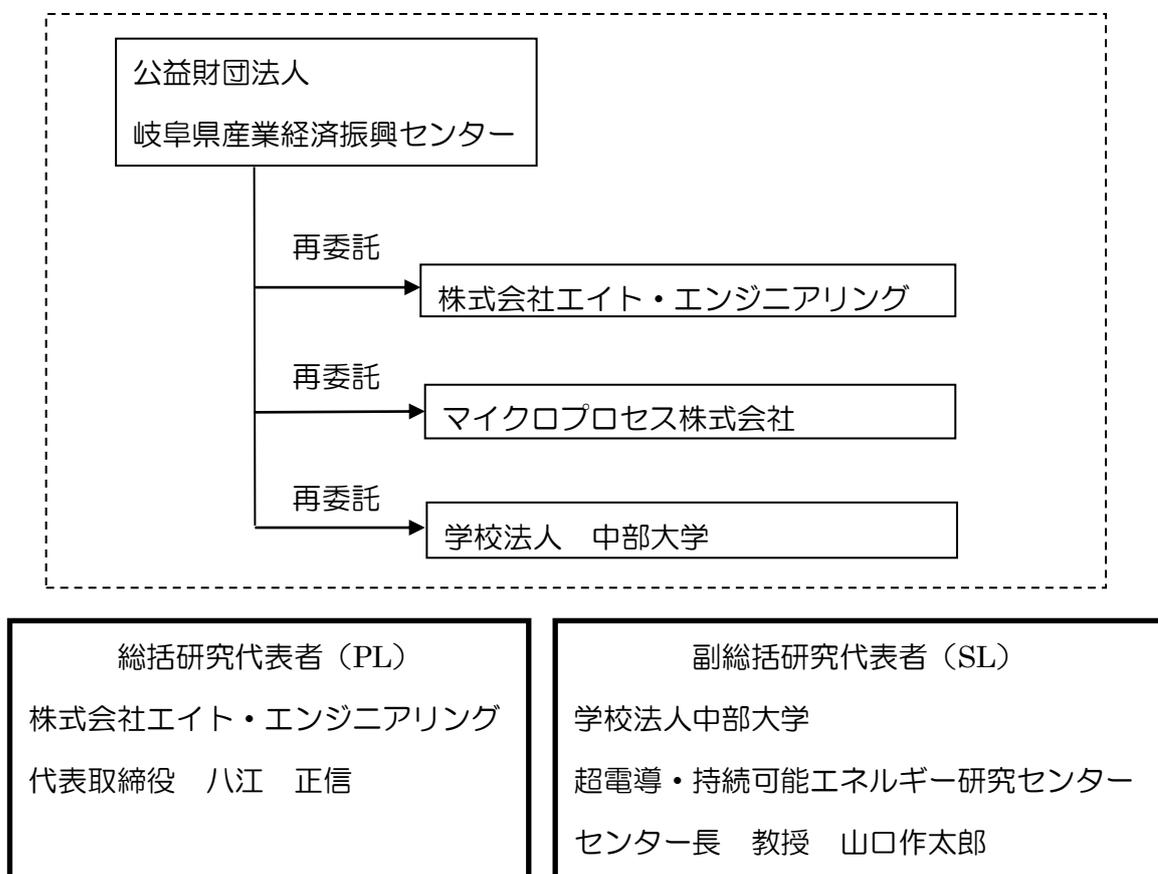
1-2 研究開発の背景・研究目的及び目標

本研究で開発する製品は、高度化する低価格製品である、超薄板ガラスアプリケーションの製造対応装置として位置付ける。その為、低コスト、低ランニングコスト、多品種少量生産、耐環境性を確保しながら、次世代のデバイス（高硬度脆性材料）対応を目指すものである。ガラス基板の薄板化傾向は、モバイルツールなどの開発に伴い進化している。薄板化のメリットは、軽量化、コスト性や独自性デザインの為各社が新製品化を計画している。次世代の表示器となる有機 EL ディスプレイで考える場合、表示面を球面に出来る技術や、ペーパーディスプレイへと製品が進化し、その場合必要となるのが、「超薄板ガラス」である。一部、樹脂フィルム上に表示デバイスを組み込む技術が開発され、発表されているが、高精細高品質のディスプレイは、その強度や透明度が優位なガラスを採用している。益々薄板化するガラスの製造技術に伴い、2次加工、3次加工の切断方式としては、現状の機械的な切断方法とレーザー光線等による加工方法が主流である。はたして、これらの技術が、超薄板ガラス基板の時代になった場合に、適した加工方法で有るかは疑問がのこるところである。また、最終製品の価格低下の為、生産設備ならび製造工程でのコストダウンは必至である。今回の「熱切断技術」は、脆性材料が持つ熱応力を利用した加工方法で、特殊な機器や高価な部材を使用しなくても出来る技術である。言い換えれば、大手装置メーカーによる製品化は、その装置自身の付加価値面で安価な為、経営ベースのビジネス化には積極的ではない。まさに、中小企業が持っている特権を活用した製品提案となる。

1-3 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）



①事業管理機関

公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

〒500-8505 岐阜県岐阜市藪田南5丁目14番53号 ふれあい福寿会館10階

②研究実施場所（下線部は主たる研究実施場所）

株式会社エイト・エンジニアリング

〒501-6255 岐阜県羽島市福寿町浅平4丁目18番地横山ビル3C

マイクロプロセス株式会社

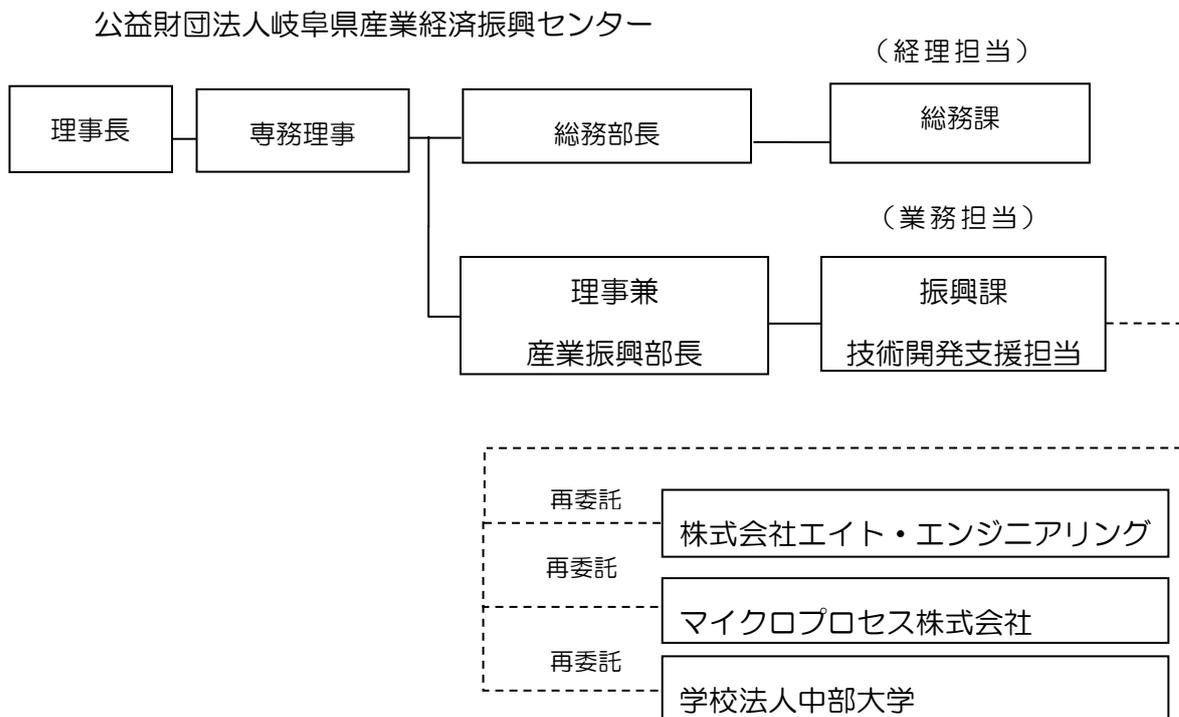
〒920-2147 石川県白山市中ノ郷147番地1

学校法人中部大学

〒487-8501 愛知県春日井市松本町1200番地

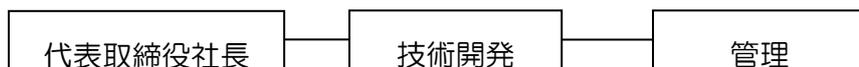
2) 管理体制

①事業管理機関

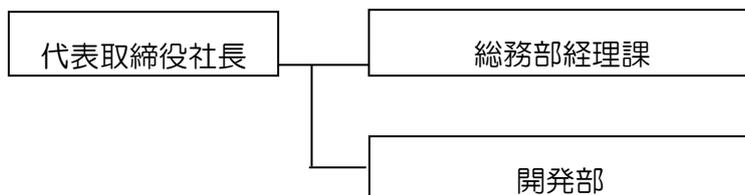


②（再委託先）

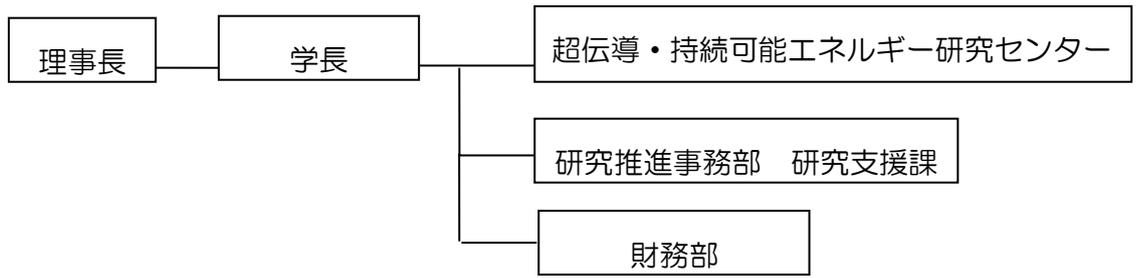
株式会社エイト・エンジニアリング



マイクロプロセス株式会社



学校法人中部大学



③ 管理員及び研究員

【事業管理機関】公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
石樽 芳直	理事兼産業振興部長兼振興課長	⑥
山田 博義	産業振興部次長兼総合相談課長	⑥
小川 誠	産業振興部振興課統括主査	⑥
戸松 薫	産業振興部振興課主事	⑥
竹腰久仁雄	産業振興部振興課管理員	⑥
戸崎 康成	産業振興部振興課管理員	⑥

【再委託先】

株式会社エイト・エンジニアリング

研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
八江 正信	代表取締役	①-1、①-2、①-3 ②-1、 ③-1、③-2、③-3 ④-1、④-2、⑤
青山 泰典	研究員	①-1、①-2、①-3 ②-1、 ③-1、③-2、③-3 ④-1、④-2、⑤

マイクロプロセス株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
宮岸 喜幸	代表取締役	①-1、①-2、①-3 ②-1、 ③-1、③-2、③-3 ④-1、④-2、⑤
木田 健一郎	研究員	①-1、①-2、①-3 ②-1、 ③-1、③-2、③-3 ④-1、④-2、⑤
西村 将	研究員	①-2、①-3、②-1
中村 朋広	研究員	②-1、

		③-2、③-2、③-3 ④-1、④-2、⑤
--	--	--------------------------

学校法人中部大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
山口 作太郎	超伝導・持続可能エネルギー 研究センター センター長 教授	①-1、①-2、①-3 ②-1、③-2、③-3 ④-1、④-2、⑤
廣田 篤	研究員	②-1、③-2、③-3 ④-1、④-2

1-4 成果概要

【1-1】超薄板ガラスの熱切断用ヒートナイフの開発

超薄板ガラス熱切断の為に Heat-knife、Cool-tool の先端部形状、材質、表面処理等を検討し、方向性を検証した。手法としては、現在市場で使用されている薄板ガラス基板の材料特性を基本に、CAE (Computer Aided Engineering) にて解析を行った。CAE 解析結果を熱切断実験装置の開発に反映した。

【1-2】Heat-knifeによるガラス基板の急速加熱方式の検証熱切断に効果的な加熱方法、冷却方法を調査、検証する為に各種のHeat-knife、Cool-tool の設計・製作をマイクロプロセス株式会社にて実施する為に基本構想、仕様書を作成した。

【1-3】予き裂傷入れ検証

熱切断におけるガラス基板の表面の予き裂の影響を調査、検証する為に簡易型スクライバーの設計・製作をマイクロプロセス株式会社にて実施する為に基本構想、仕様書を作成した。

【2】熱切断実験機の開発への対応

簡易型スクライバー及び熱切断実験装置を使用し、熱切断の実験を実施した。予備実験での熱切断した内容でまずは確認した。加熱、冷却方式において各種

の Tool を使用し、実験機開発のデータを収集する。

【2-1】熱割断実験機の開発

昨年製作した熱割断実験装置及び簡易型スクライバーを用いて熱割断実験を行い、熱割断に必要なデータ、機構、予き裂の条件を取得した。その取得したデータ、機構、予き裂の条件を活用し、熱割断実験機を設計、製作した。また、熱割断実験装置の課題を抽出し、それらの課題を改善できるように熱割断実験機の設計にフィードバックした。

【3-1】実験機検証

製作した熱割断実験装置の評価、検証を行なった。要求仕様を満足しているか、熱割断実験装置の課題を改善できたかを評価した。その結果、要求仕様を満足した熱割断実験機を製作できたことを確認した。

【3-2】熱割断の再現性及び適正加工条件の検証

製作した熱割断実験機を用いて、熱割断実験装置での実験の再現性を検証するとともに、適正加工条件の検証を行なった。

その結果、熱割断実験装置での割断結果をほぼ再現できることを確認した。その際の適正加工条件も求めた。

【3-3】実験機改良と付加機能追加の検証

熱割断実験機を製作し、熱割断実験を行ない、先に製作した熱割断実験装置とほぼ同等の熱割断が行なえることを確認した。さらに、熱割断の適正条件の調査を行なった。その結果から、熱割断を実際に行う場合の課題を抽出し、実験機改良と付加機能追加について考察した。

【4-1】試作機設計、製作

一昨年に開発した熱割断実験機において、次世代の新素材対応及び熱割断の条件出し精度向上の為、コンスタントヒーターに続き、パルスヒーターユニットを付加する事で、温度設定の精度アップと加熱速度の高速化可を目的として改

良を行った。

【4-2】試作機による生産性、工程能力の検証

改良した熱切断実験機において、パルスヒーターの能力検証及び熱切断実験を実施し、そのデータ収集と能力と方式について検証を行った。また、予亀裂位置合わせの問題があった為、位置合わせ用カメラをステージ下方に設置し裏面より位置合わせが出来る様にした。

【5-1】事業化の検討

一昨年までの研究成果を元に、PR 資料を作成しユーザーに紹介を始めた。また、熱切断実験機及び本年度実施した改良点を紹介し、難切削素材に対しての加工提案を行った。また、一部のユーザーよりサンプル基板をあすかり熱切断実験を実施した。

1-5 当該研究開発の連絡窓口

所属	公益財団法人岐阜県産業経済振興センター
氏名	産業振興部 振興課 主事 戸松 薫
電話	058-277-1093
FAX	058-273-5961
E-mail	tomatsu_at_gpc-gifu.or.jp (_at_は@に変換)

第2章 本論一（1）

本研究では、下記の項目に基づき研究を実施した。

- 【1】超薄板ガラスの熱割断用Heat-knifeの開発への対応
- 【2】熱割断実験機の開発への対応
- 【3】実験機による超薄板ガラスの熱割断特性評価への対応
- 【4】試作機的设计、製作への対応
- 【5】事業化の検討

【1】超薄板ガラスの熱割断用Heat-knifeの開発への対応

2-1 研究目的

薄板ガラス基板の表裏に、Heat-knife及びCool-toolにて加熱、冷却を加えた場合に発生する、熱応力についてCAE解析を実施し、ガラス基板の熱割断に必要な応力分布、状態、応力値などを解析し、適正な温度、時間、及びHeat-knife、Cool-toolの形状や熱のかけ方等を解析し、熱割断実験装置の開発にフィードバックする。

2-2 研究内容

Model 1 解析

下記条件にて定常熱解析を実施

対象ガラス 0.4mm 無アルカリガラス基板

ガラス厚み 0.4mm

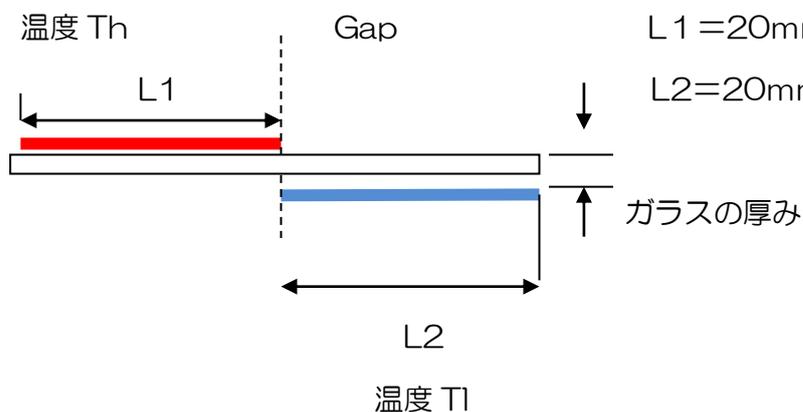
Th=300°C 400°C 500°C

Tl=常温 (25°C) -10°C -40°C

Gap=0

L1=20mm、10mm 1mm

L2=20mm、10mm、1mm



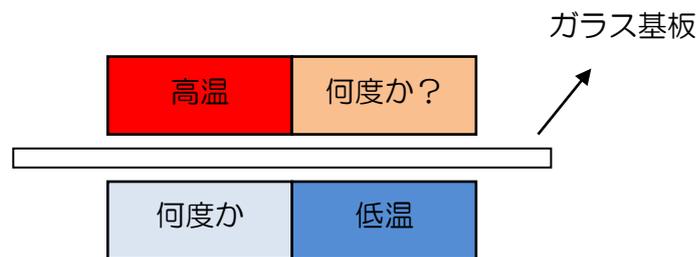
- 1) 温度の Contour
 - 2) 熱応力分布
- 定常解 2次元計算、3次元計算
時間変化なし

Model : 2 解析 Time-Dependent Calculation

t=0 で Th、Tl を与えて 応力 (σ)、温度分布を時間発展で求める。

2次元、3次元

- 1) 2次元グラフを書く為の断面についての Contour の出力
- 2) 応力 σ_x σ_y σ_z を別々に出力
- 3) Edge が σ_{max} にならない理由の解析と来る様にするには
- 4) 変形 押さえつける Block の力を受ける側の Block 温度の演算



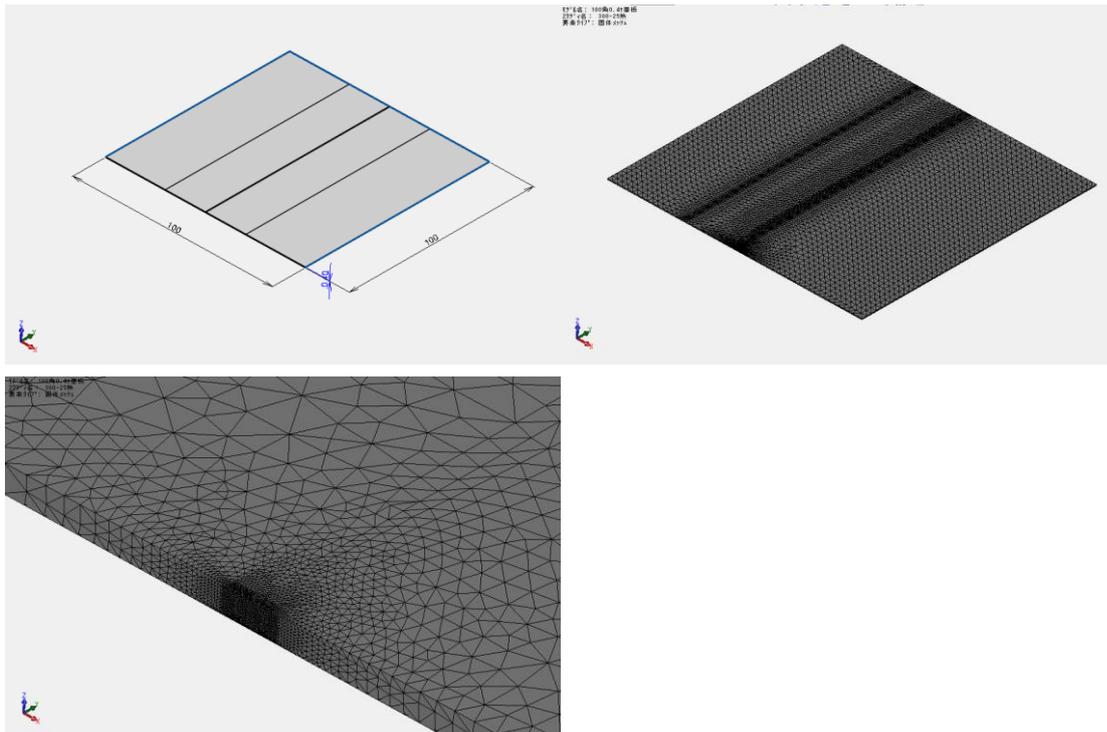
※熱変形を押さえ込むことによって、発生する機械応力の見積が必要

- 5) 時間発展に熱伝達係数を入れて計算

2-3 研究結果

Model1

ガラスサイズ 100 角の中央部分の上面に高温側エリアを設定、下面に低温側エリアを設定。下図はエリアサイズ幅が 20mm の例を示す。右図は解析用メッシュを表示したもので、温度設定エリアの境界線を細かくメッシュ制御するようにした。そして、右図の手前側端面はその部分を細かくメッシュした。



材料特性は下記の通り、降伏強さに関しては適当な値を入れた。

文献を検索したが、ガラスの降伏強さに関しては明確な数値が得られなかった。

この値は材料が降伏するかどうかの強度的な値。

プロパティ	値	単位
X方向の弾性係数	7.39e+010	N/m ²
XY内面のポアソン比	0.23	N/A
XY面内のせん断弾性係数	2.8022e+010	N/m ²
質量密度	2410	kg/m ³
Xの引張強さ	10000000	N/m ²
Xの圧縮強さ	10000000	N/m ²
降伏強さ	2e+010	N/m ²
X方向の熱膨張率	3.49e-006	/K
X方向の熱伝導率	0.74976	W/(m·K)
比熱	834.61	J/(kg·K)
材料減衰比		N/A

解析には手軽な Solidworks Simulation ツールを使った。

下記にその結果の画像を示す。

見方は例として 300-25-1 では 300 は高温側の温度 T_h 、25 は低温側の温度 T_l 、

1 はそれぞれの温度を設定するエリアの幅 L_1, L_2 を表す。

今回の計算では組み合わせは高温側温度 3 種類×低温側温度 3 種類×幅 3 種類
=27 種類とした。

計算数を減らす意味で L_1, L_2 は同じ値としたが、それを違う値をとる場合は改めて計算する。

熱計算は定常熱計算で実施した為、本来なら高温側の温度がすべて熱伝達され、また低温側温度も平衡が取れるまで熱伝達されるので、高温側から低温側への熱勾配が現れる。

高温側と低温側のギャップをゼロにしている。(このギャップを変化させて計算することも可能ですが、計算回数が多くなるので割愛した)

また本来ならガラス基板の各表面から周囲の空気へ熱伝達が起こるが、すべての面に 0.1w/m^2 の熱伝達が有るとした、そのため、高温側から基板の遠い端面に向けて温度勾配が生じている。この熱伝達量をゼロにして予備計算もしてみたが、高温側と低温側の温度勾配部分にはあまり差が見られなかった。

温度の定常計算結果からその温度分布を基に構造計算へ練成を実施して熱による応力を計算した。

添付図は縦軸は基板全体の上斜め方向からの温度分布のコンター図

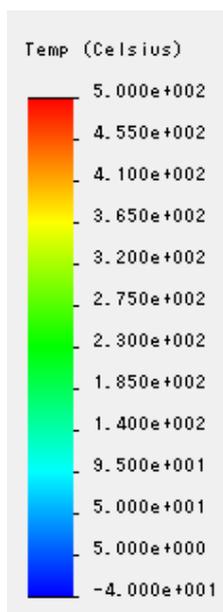
その場合の手前側端面を拡大したコンター図

温度分布から基板の熱応力（構造計算）の上斜め方向からの応力コンター図

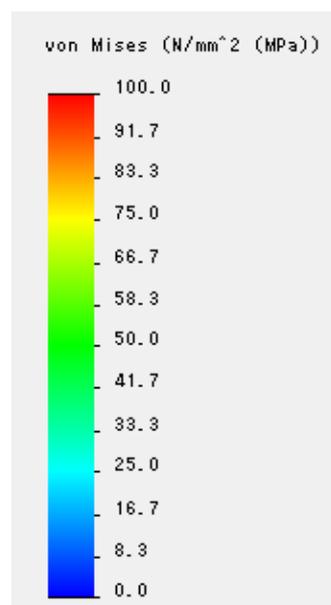
その場合の手前側端面を拡大した応力コンター図の順で配置した。

横軸は高温側温度違いを見る意味で各コンター上限値と下限値を統一した

温度分布は上限値 100°C 、下限値 -40 度とし、応力は上限値 100MPa 、下限値 0 とした。よって高温側 300 度の図ではコンターとして値が低い様に見える。

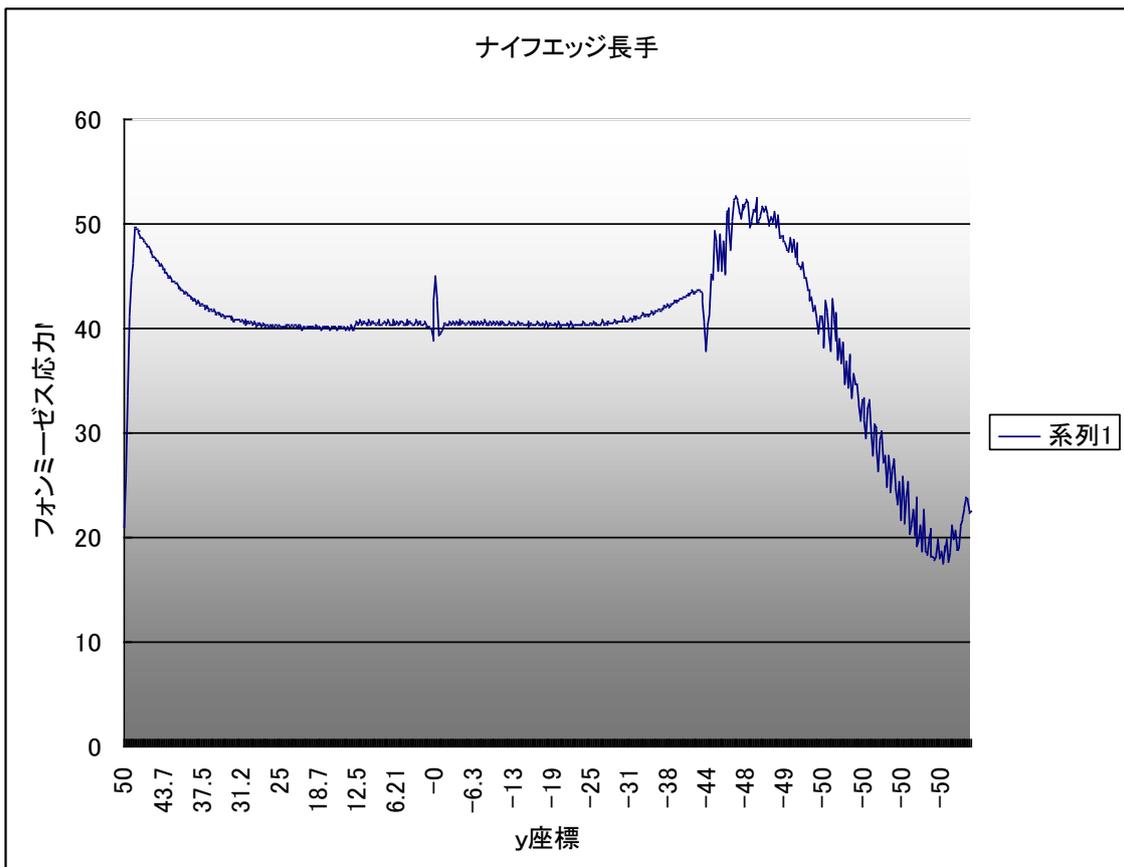
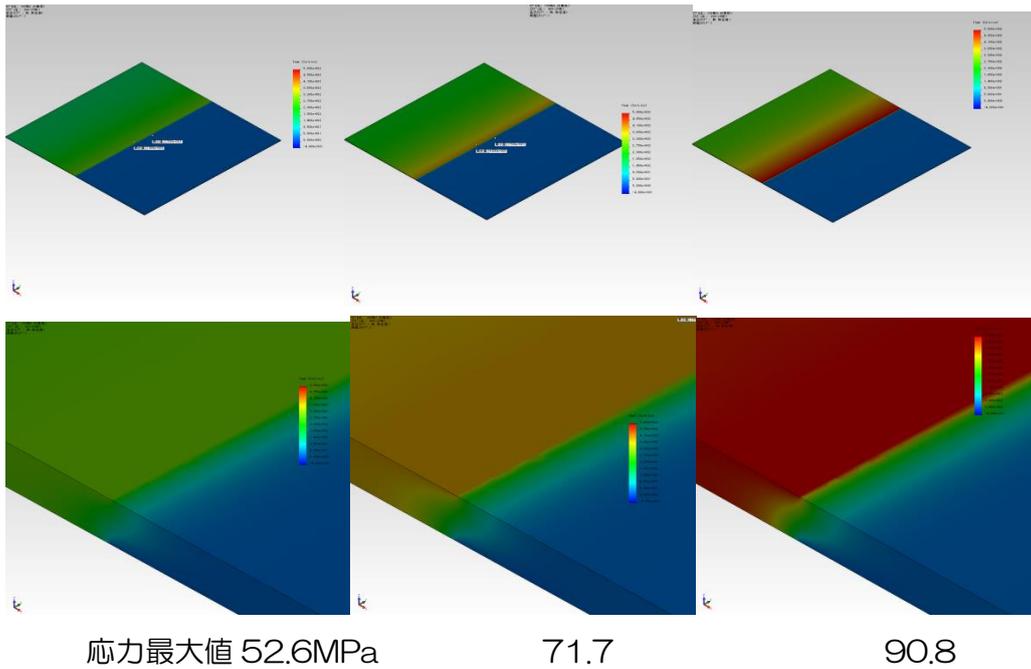


300-25-1



400-25-1

500-25-1



上図の右側はメッシュを細かくしている影響で接点が多く、端面（右端）から2mm程度 y 座標では 47-48 の位置で応力が大きくなっているのが判る。
 左側はメッシュが粗いので端面から同じく数 mm 内側で応力が大きくなる傾向が

見られるが詳細に拡大されていない。

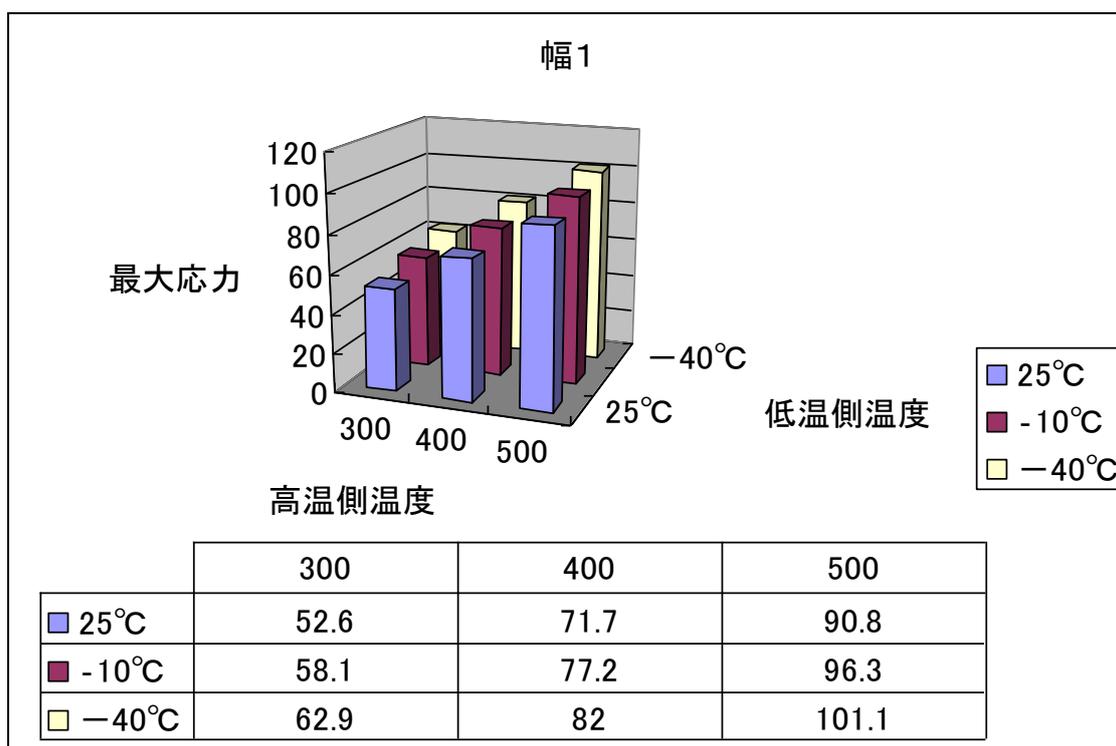
これは基板の全表面に 0.1w の熱伝達を定義した影響で高温側は伸び低温側が縮む結果長手のエッジ部分で非対称となり通常の引っ張りではなくモーメントのような力が加わっていると考える。

よって、現実的には熱伝達量の値がどうであれ、傾向的にはこのような傾向が見られると考えてよい、と、言う事は基板端面から少し内側に最大応力が発生し、その部分が破壊されやすい。(その部分からクラックが走る可能性が高い)

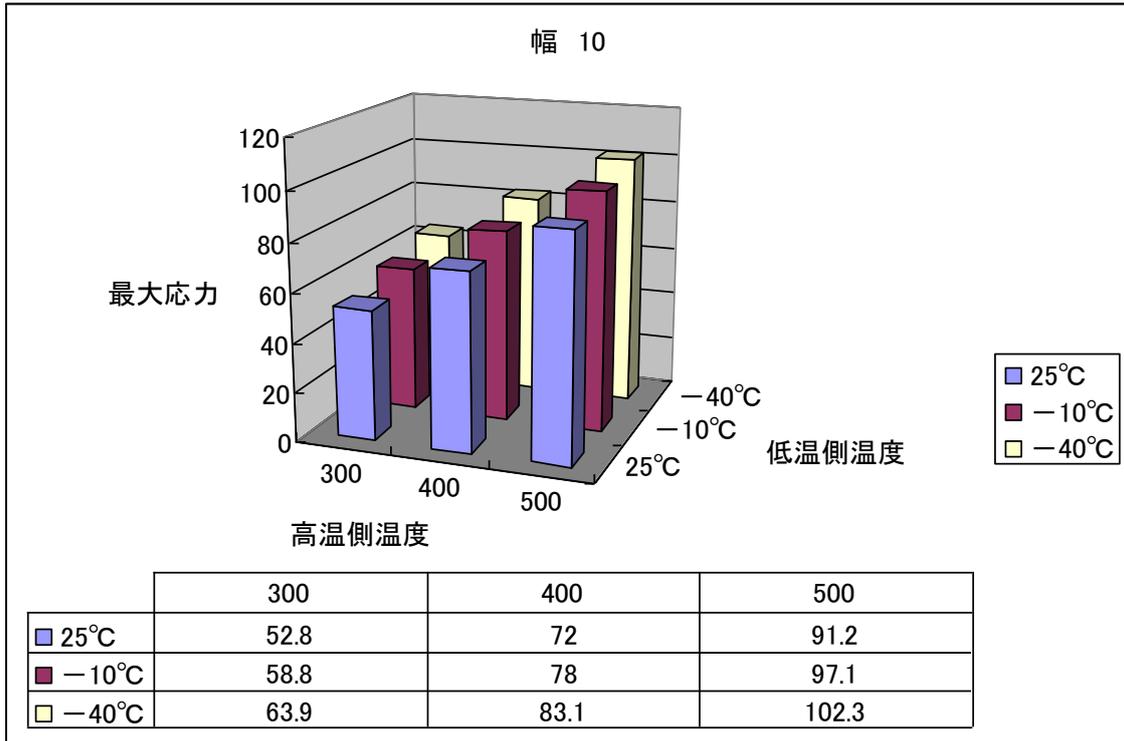
ただ、応力値が基板の破壊応力以上で有る事が条件だが、強化ガラスといえども 50MPa の応力では破壊されても不思議でなく、もっと低い値でクラックが走る条件が整う。

中心部分に突起状に高い応力が確認できるのは長手方向以外に横方向にもモーメントが加わる事でその前後数 mm ですこし高くなるのではと考える。

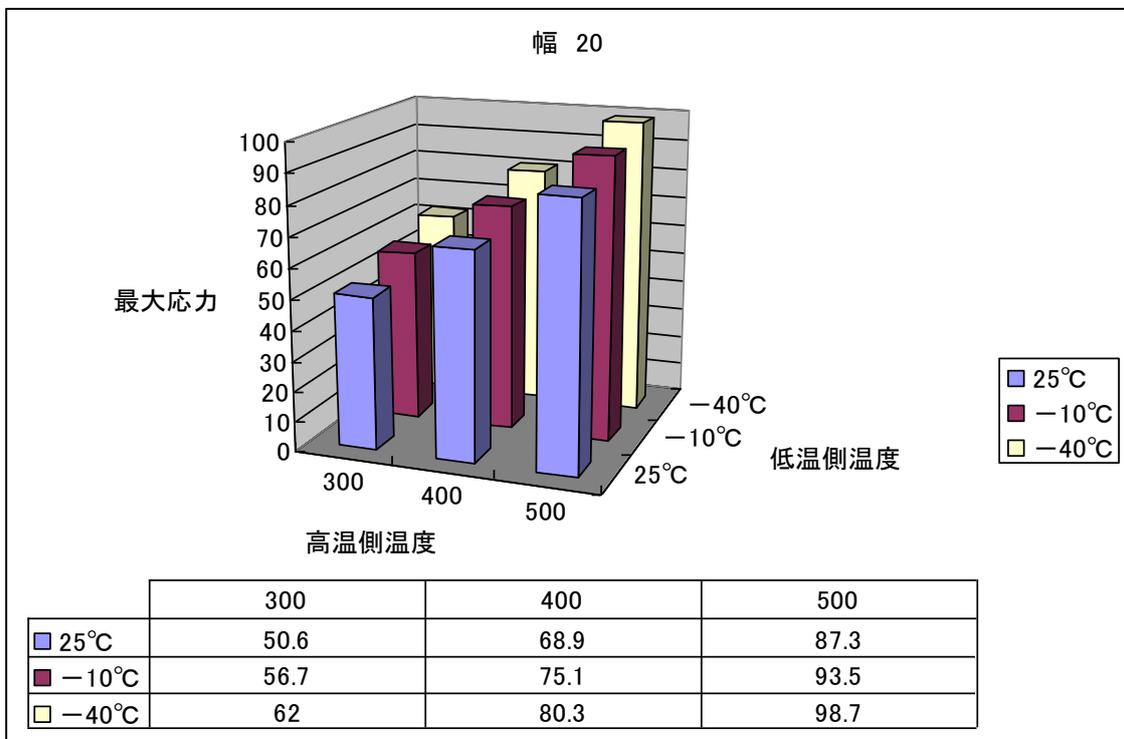
熱、冷却ナイフ幅 1mm での最大応力比較表



熱、冷却ナイフ幅 10mm での最大応力比較表



熱、冷却ナイフ幅 20mm での最大応力比較表



以上の結果から考察して、熱ナイフ割断では高温側温度と低温側温度の差が大きい

ほど割断しやすく、熱ナイフの接触幅が小さいほど、応力の高い部分が方向性（エッジの長手方向に）を持ちやすくなるのでクラックが走る方向を規制するには可能な限り熱ナイフの接触幅は小さい方が良いのでは？

ただ、基板と接触した際に熱ナイフと基板間での熱伝達がスムーズに行われる必要が有る。

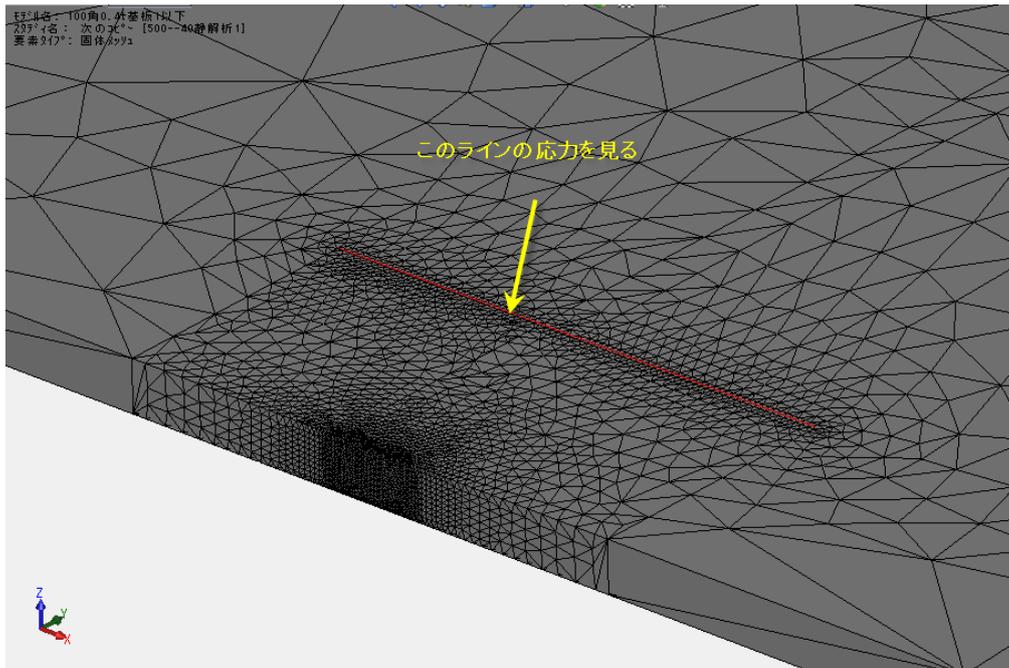
また、基板厚さとの関係で単位時間に基板側に流れ込む熱量が厚さに対して十分な容量が有るようにする意味で厚みよりも大きくするのが良いのでは・・・と言う事は少なくとも今回の例では0.4mm以上で熱伝達がMAXに出来、クラックがそのエリア内で収まる事が望ましい。熱伝達量は接触状態にも左右されるが、温度差がファクターとして大きいので高温側を温度高くするか、低温側を低くするかのどちらか。

また、基板のクラックが意図しない方向に走るのを妨げる目的で基板温度を軟化点付近まで高温にしておいて、低音側はたとえば液体窒素などのノズルで冷やされた冷却ナイフを用いればより意図する方向になるのでは？

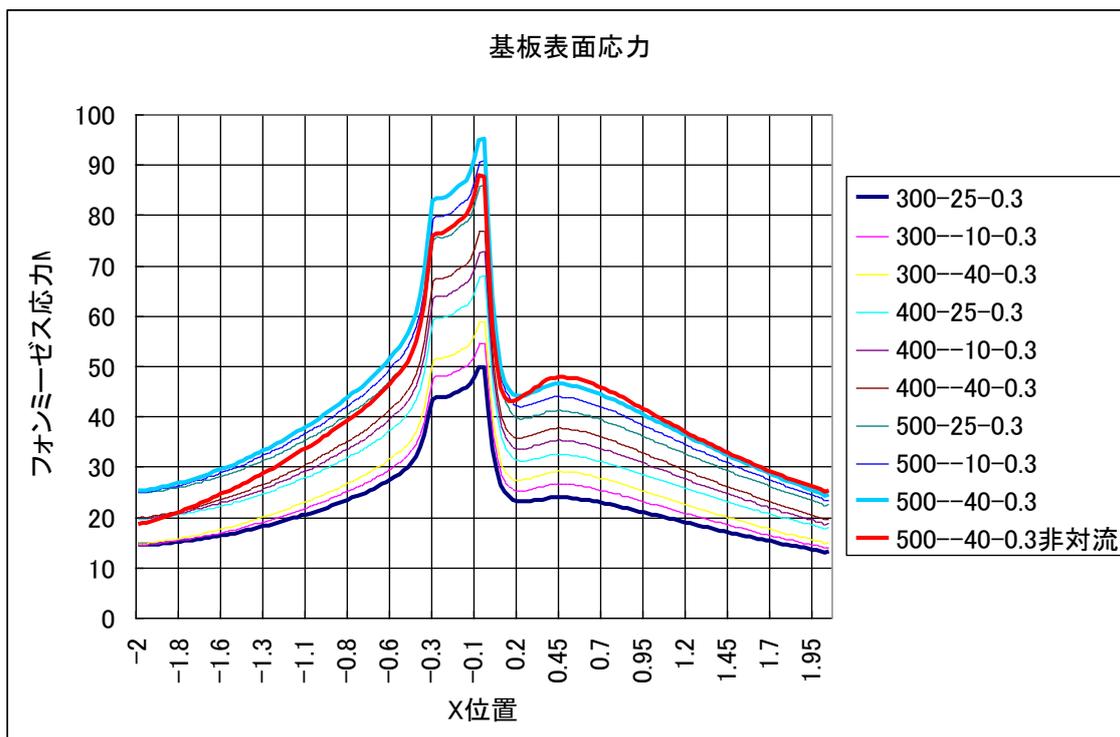
今回のナイフの接触幅は20mm、10mm、1mmと3段階を計算したが、今回の考察から基板厚みの1/2程度の0.2mm、0.4mm、1mm、2mmと計算してみて比較するともっと関係が判るのではと考える。

メッシュを切りなおして、基板表面の応力が横軸に対して位置と応力値を比較できるようにした。

メッシュは



各条件での応力は



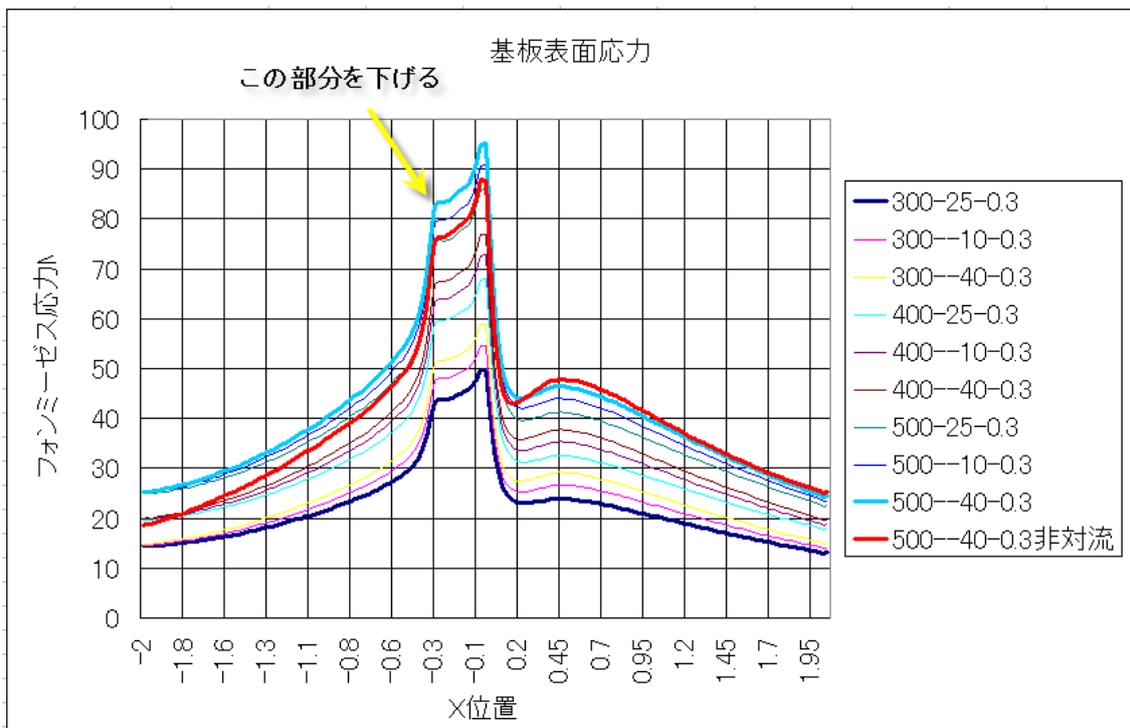
となり、水色 500-40-0.3 は高温側温度 500℃、低温側 - 40℃、ナイフ幅 0.3 を表す。

赤色の非対流のグラフは基板のすべての表面からの空気中への熱伝達を零とした場合の応力分布を示す。

いずれにせよ、今回の計算では定常熱計算の結果なので、熱の伝達が収束するまでを計算している。

よって、熱ナイフが基板に接触してからの時間的な変化は次の計算ステップ model2 で取り組む。基板の破壊応力は基板の内部応力などでバラツクが力学的には応力が破壊応力に到達した時点でクラックが進展することになる。また、初期のクラックのトリガとして基板への溝加工（ダイヤモンドなどによる傷）はクラックの方向性の制御では有効。

予備計算では基板への初期クラックを付与したものはそのクラック部分に応力の集中がみられより、破壊しやすく、方向性が規制される。

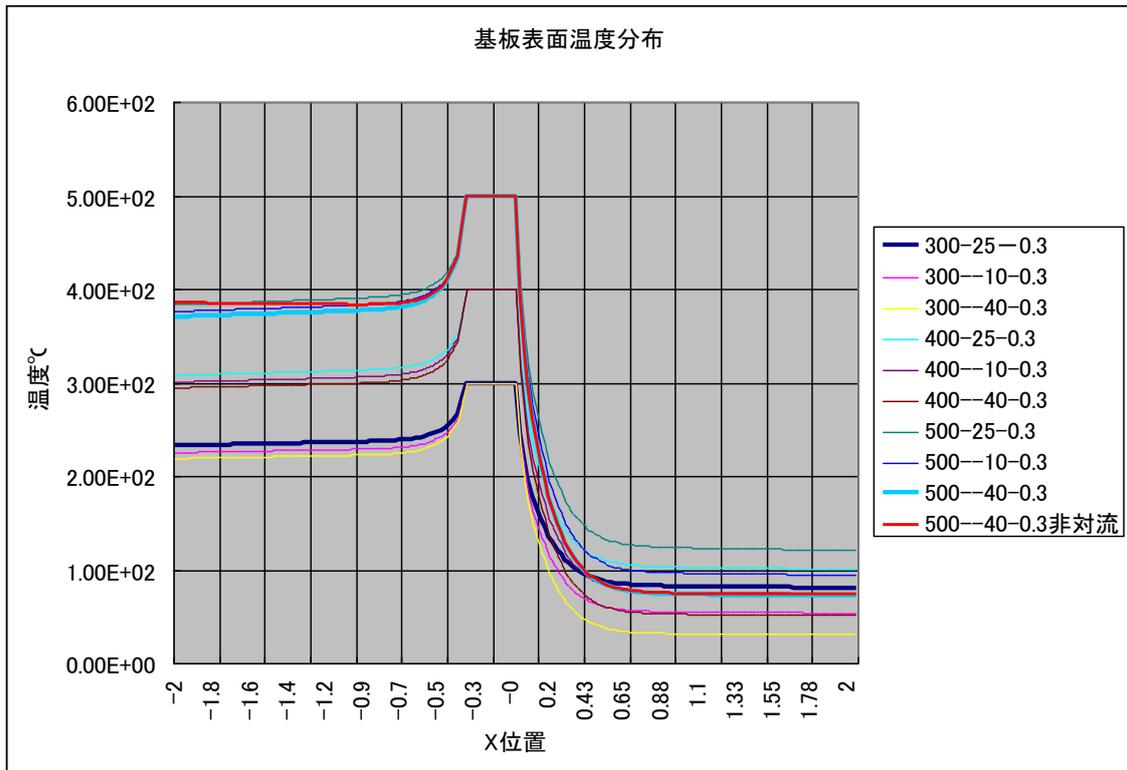


上図の黄色→部分を下げる事が出来れば、応力変化はより急峻になるのでクラックの方向性が増す。

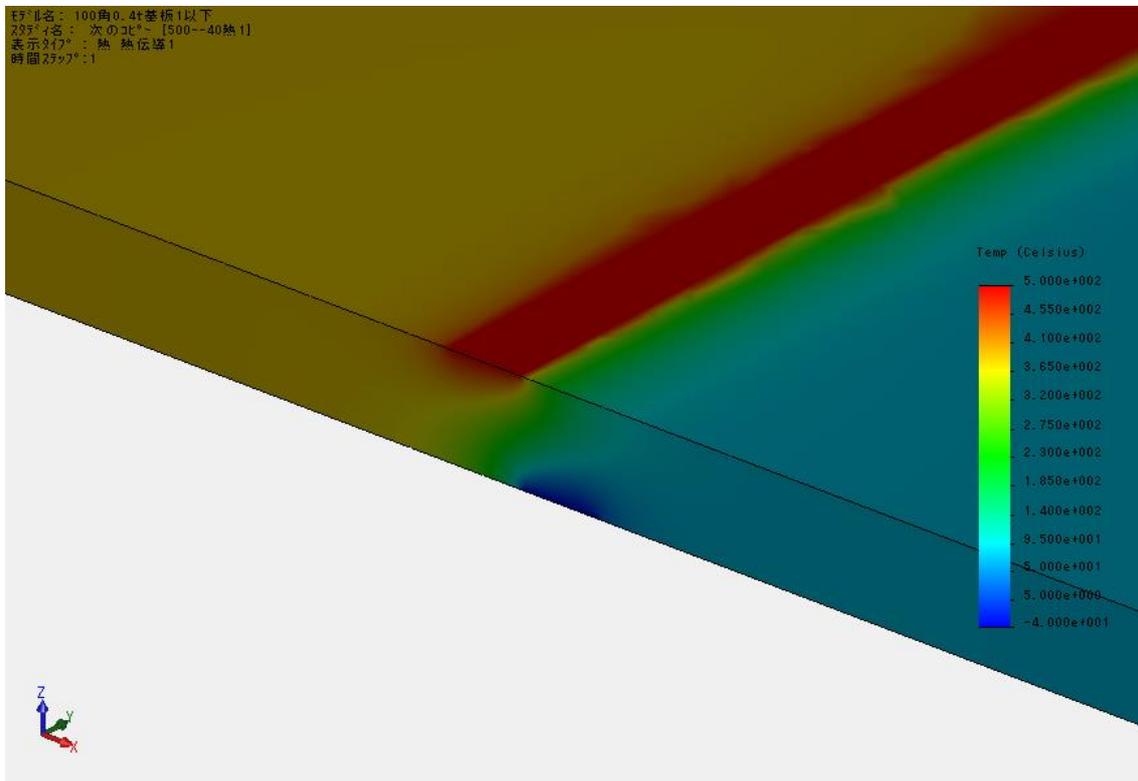
下げるには熱ナイフ幅 0.3mm で X 方向に熱ナイフと基板間の熱伝達をコントロールする意味で X 位置 - 0.2mm ~ - 0.3mm で熱伝達率が低い材料を用いるか、熱ナイフの温度を一定でなく、温度勾配を持たせるか、の方法が考えられる。ただ、時間軸変化でのよりカーブが急峻になり破壊応力に達する X 位置の範囲が小さい事が最適となる。

基板からの空気中への熱伝達の有無ではこのカーブの角は解消されなかった。

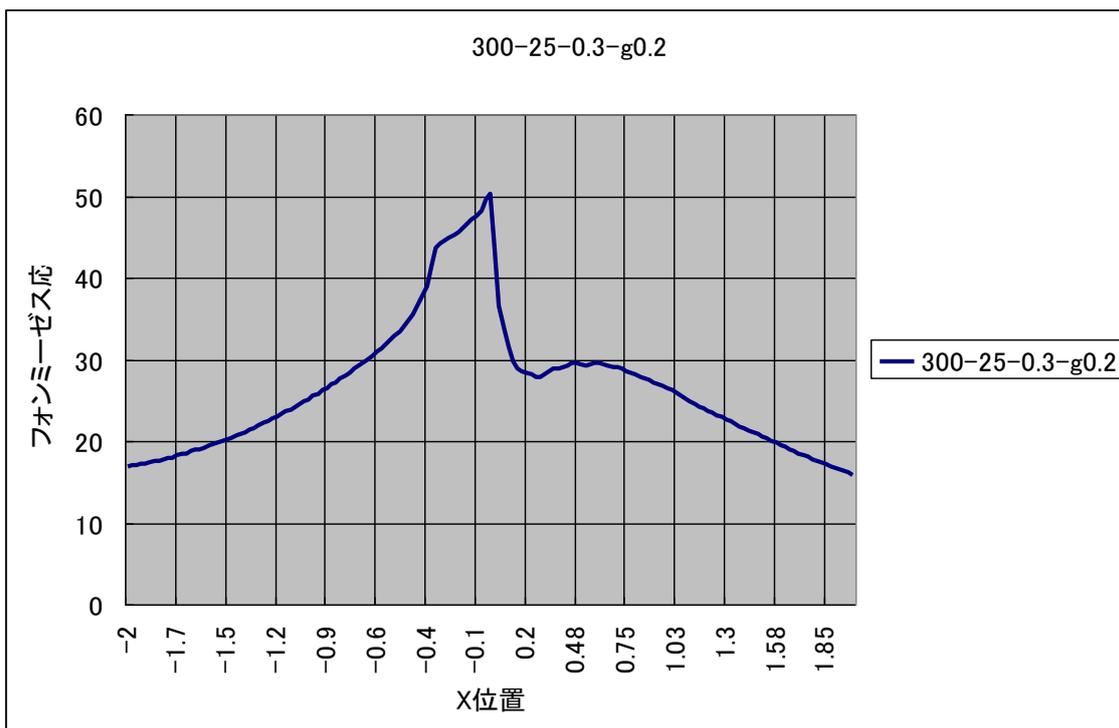
温度分布は



500—40-0.3 非対流の温度分布

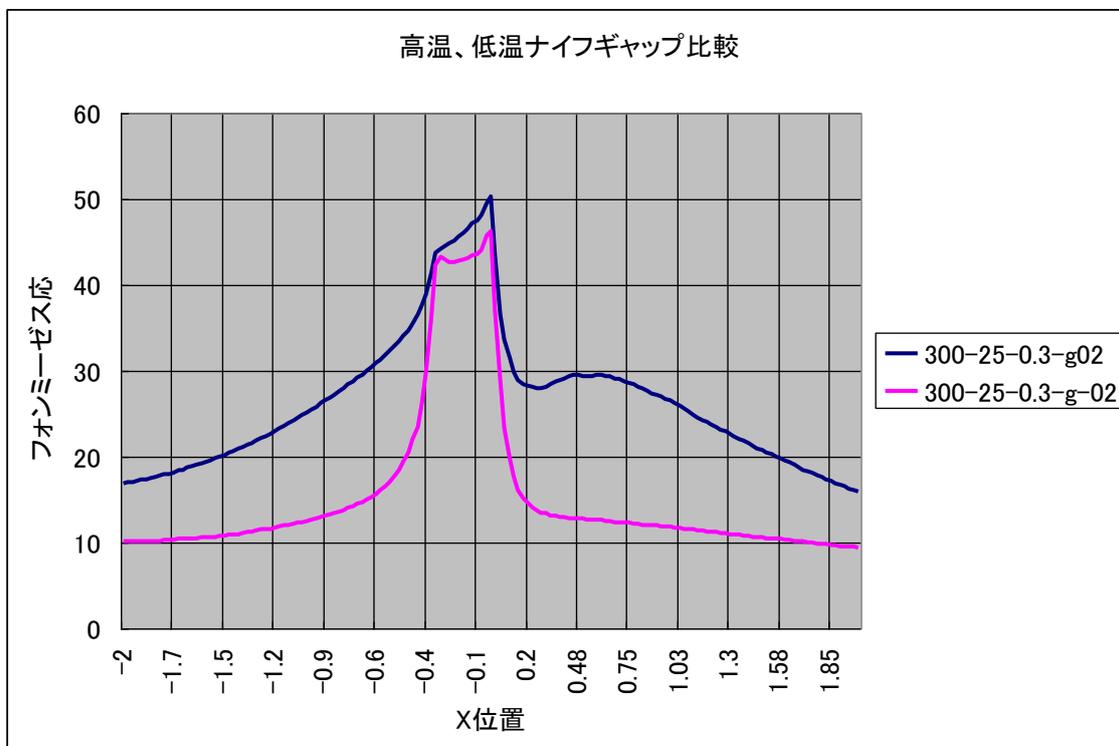


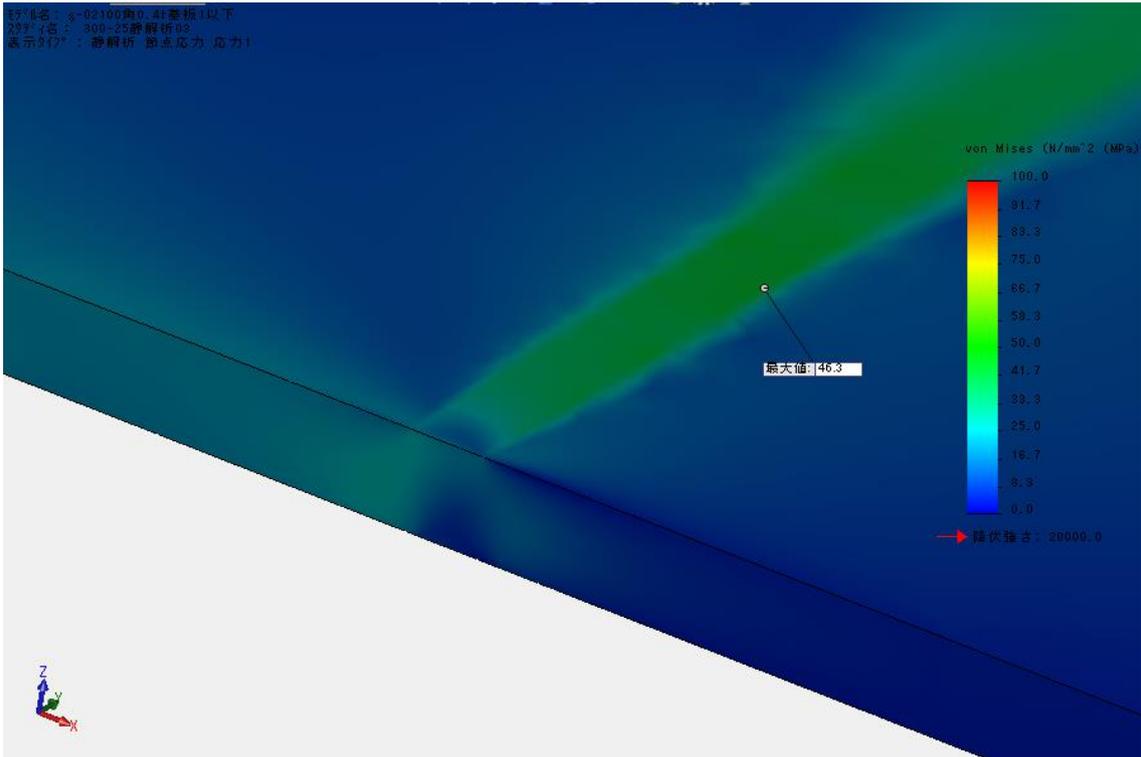
熱ナイフと冷却ナイフの境界ギャップを 0.2mm 離すと



となり、左肩が下がっている。

冷却ナイフとのギャップを 0.2mm ラップさせたものとの比較は





となり、ピークの応力は 0.2mm 離れた方が高くなり、左肩のコブも下がっている。
また、左右対称に近い。

【2】熱切断実験機の開発への対応

・研究目的

熱切断に効果的な加熱方法、冷却方法を調査、検証する為に、各種のHeat knife、Cool-toolを製作しそれらが装着出来る熱切断実験装置を設計、製作する。

・研究内容

共同研究者であるマイクロプロセス株式会社にて設計、製作する為の基本構想、仕様を作成した。

・研究成果

【熱切断装置要求仕様】

1. 概要

本装置は、平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業（次世代超薄板ガラスの低コスト切断を実現するヒートナイフによる熱切断装置の開発）において、熱切断実験を行うための機械装置である。

2. ワーク

最大サイズ

150mm角ガラス基板対応とする

基板厚み

0.1~2.0mm

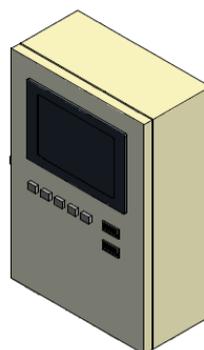
3. タクトタイム

実験装置の為に設定しない

4. 装置外観



(熱切断実験装置設計・製作)



(操作制御部設計・製作)

5. 装置構成

・本体架台部	1式
・ステージ部	1式
・アライメント部	1式
・Z軸部	1式
・X軸部	1式
・Heat-Knife部	6式
・Cool-Tool部	4式
・加熱部	2式
・冷却部	1式
・クリーンユニット部	1式
・操作制御部	1式

6. 装置詳細

・本体架台部

本体ベース

アルミ材使用 500X520X15mm

レベル	アジャスター付き 4ケ
• ステージ部	
駆動モーター	AC サーボモーター使用：三菱電機 HC-MF053 出力 50W 最大トルク 0.48N・m 定格回転数 3000r/min
駆動方式	ボールネジ使用 C3 クラス
ストローク	200mm (最大)
送り精度	±0.01mm
ガイド機構	リニアガイド：THK SSR15 使用
• アライメント部	
スコープ	双眼実体顕微鏡使用：NikonSMZ1000 (外部照明付き) ズーム式 総合倍率 4~480 倍
マニピュレーター	Z 軸のみ
WD	75~110mm
• Z軸部	
駆動モーター	AC サーボモーター使用：三菱電機 HC-MF053 出力 50W 最大トルク 0.48N・m 定格回転数 3000r/min
駆動方式	ボールネジ使用 C3 クラス
送り精度	±0.01mm
ガイド機構	リニアガイド：THK SSR15 使用
• X軸部	
駆動モーター	AC サーボモーター使用：三菱電機 HC-MF053 出力 50W 最大トルク 0.48N・m 定格回転数 3000r/min
駆動方式	ベルト駆動

電源	AC100V 使用
温度調整	市販温度コントローラー使用：オムロン E5CDQ1
温度設定	温度調整器にて設定する
• 冷却部	
冷却方式	電子熱交換式（ペルチェ素子使用）
冷却水	市販チラーを使用：東京理化機器 ACE-1000 相当品
温度制御	ペルチェ専用温度コントローラー使用 温調器：オーム電機 TC91-8Y1-4
断熱	断熱材＋樹脂カバー使用
• クリーンユニット部	
HEPA	日本エアテック製使用：MAC-15UL
• 操作制御部	
主制御	汎用シーケンサー使用 三菱電機製：QO1UCPC
操作	タッチパネル＋PB 三菱電機：GT1455-QTBD

7. 動作、運転

- 動作モードは、セミオート並び手動モードとする。
 - セミオート ： 割断動作を1サイクル実行する。
 - 手動モード ： 各軸動作を操作パネルスイッチで実行する
- 運転モード1：Heat-knife 下降動作
 - 運転モード2：Heat-knife 横行動作
 - 運転モード3：ステージオフセット動作
- パラメーター
 - Z 軸パラメーター 停止位置、下降量、速度、接触時間、原点位置
 - X 軸パラメーター 停止位置、移動量、速度（TypeC,D の場合）、
原点位置

Y軸パラメーター 停止位置、移動量、速度、原点位置

Heat-knife パラメーター 温度設定、表示

Cool-tool パラメーター 温度設定、表示

・ユーティリティ

AC100V 2系統以上可

①下記納入場所への運搬・設置・試運転まで行うこと。

(ただし、1次側電源工事は不要)

②電源についての除外項目

電圧変動が定格電圧±10%を越える様な場所。

15ms を越える瞬時停電が発生する様な場所。

③ノイズについての除外項目

一次電源に、1000V、1 μ s以上のサージ電圧が印加される様な場所。

④温度、湿度についての除外項目

雰囲気温度が40℃以上または、5度以下になるような場所。

相対湿度が40%以下または、85%以上になる場所、及び結露が発生する場所。床振動（参考としますが、床起因により本来の装置の性能が充分発揮できない場合があります。床の強度不足による共振等。）

下記 床振動を超える様な場所。

1~5Hz 0.5×10⁻²m/s²以下

5~20Hz 1.0×10⁻²m/s²以下

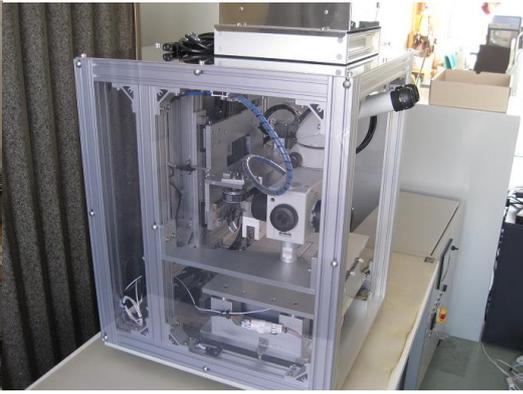
20~100Hz 2.0×10⁻²m/s²以下

8. ユニット組み換え

Heat-knife の A、Btype から、C、DType へヘッド部組み換えで対応出来ること



【熱切断実験装置：正面】



【熱切断実験装置：側面】



【熱切断実験装置：制御盤】



【熱切断実験装置：チラー】

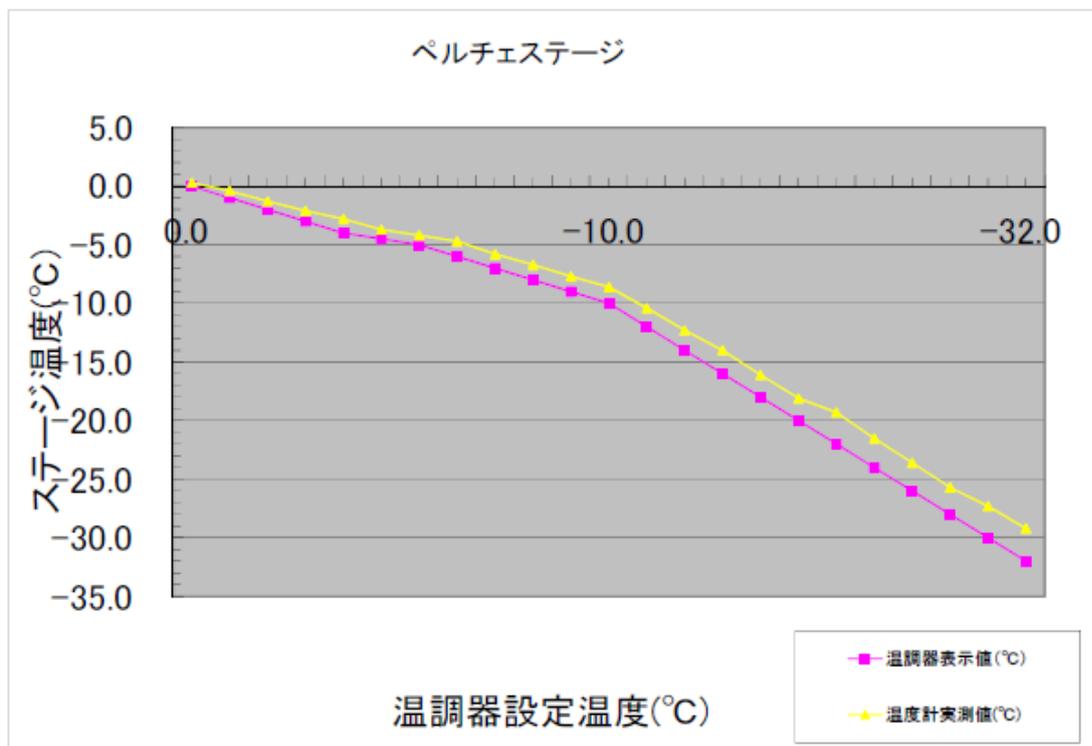
設定温度 (°C)	温調器表示値 (°C)	温度計実測値 (°C)	差 °C
0.0	0.0	0.3	0.3
-1.0	-1.0	-0.4	0.6
-2.0	-2.0	-1.3	0.7
-3.0	-3.0	-2.1	0.9
-4.0	-4.0	-2.8	1.2
-4.5	-4.5	-3.7	0.8
-5.0	-5.0	-4.2	0.8
-6.0	-6.0	-4.7	1.3
-7.0	-7.0	-5.8	1.2
-8.0	-8.0	-6.7	1.3
-9.0	-9.0	-7.7	1.3
-10.0	-10.0	-8.6	1.4
-12.0	-12.0	-10.4	1.6
-14.0	-14.0	-12.3	1.7
-16.0	-16.0	-14.0	2
-18.0	-18.0	-16.1	1.9
-20.0	-20.0	-18.1	1.9
-22.0	-22.0	-19.3	2.7
-24.0	-24.0	-21.5	2.5
-26.0	-26.0	-23.6	2.4
-28.0	-28.0	-25.7	2.3
-30.0	-30.0	-27.3	2.7
-32.0	-32.0	-29.2	2.8
	平均		1.6

測定器

放射温度計：AD-5614（エイアンドデイ）

赤外線サーモグラフィー：R300SR

（日本アビオニクス）使用



•【簡易型スクライバー要求仕様】

1. 概要

本装置は、平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業（次世代超薄板ガラスの低コスト切断を実現するヒートナイフによる熱切断装置の開発）において、予き裂検証を行うための機械装置である。

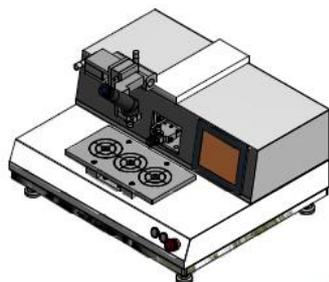
2. ワーク

最大サイズ	150mm角ガラス基板対応とする
基板厚み	0.1~2.0mm

3. タクトタイム

マニュアル機の為に設定しない

4. 装置外観



5. 装置構成

• 本体部	1 式
• X 軸ステージ並び吸着ステージ部	1 式
• Y 軸部	1 式
• Z 軸部	1 式
• アライメント部	1 式
• カッターヘッド部	1 式
• 制御部	1 式

6. 装置詳細

- 本体部

本体ベース	アルミ 600X500X20mm
カバー	SPCC 鋼板塗装
レベル	アジャスター付き
• X 軸ステージ並び吸着ステージ部	
X 軸駆動モーター	5相パルスモーター使用 オリエンタルモーター CRK564NAW DC 対応 0.36/パルス 励磁最大トルク 1N・m
X 軸送り	ボールねじ使用 C3 クラス φ12mm
X 軸ストローク	125mm (最大)
X 軸最少送り量	0.002mm/p
X 軸送り精度 (再現性)	0.01mm
吸着	真空バルブ+真空ポンプ (別置き)
ガイド	LM ガイド使用 THK : SRS12MUU
• Y 軸部	
Y 軸駆動モーター	5相パルスモーター使用 オリエンタルモーター CRK543AW-T3.6 DC 対応 0.36/パルス 励磁最大トルク 0.35N・m
Y 軸送り	タイミングベルト方式
Y 軸ストローク	125mm (最大)
Y 軸最少送り量	1mm
ガイド	LM ガイド使用 THK : SRS12MUU
• Z 軸部	
Z 軸駆動モーター	5相パルスモーター使用 DRL42PA2-04M

	DC 対応 0.36/パルス
	最大推力 100N
Z 軸昇降量	5mm (最大)
ガイド	LM ガイド使用 THK : SRS12MUU
• アライメント部	
アライメント	単眼式スコープ使用 中央精機製 : LV626-S1 クロスリング付き
マニピレーター	XYZ 式
• カッターヘッド部	
加重調整範囲	0~30gr
加重測定	ばね式加重計にて測定
ダイヤモンドカッター	φ3mm 3PA 4PA (並木精密宝石製使用)
カッターヘッド材質	A5052 アルマイト処理
• 制御部	
主制御	汎用シーケンサー 三菱電機 : Q00UCPU
操作系	タッチパネル 三菱電機 : GT1455-QTBD

7. 動作、運転

- 動作モードは、セミオート並び手動モードとする。

○セミオート : 所定の位置に傷入れ動作を1サイクル実行する。

○手動モード : 各動作を操作パネルスイッチで実行する。

基板吸着

ステージ送り

Y 軸送り

Z 軸下降

1スクライプ動作

・パラメーター

Y軸パラメーター	スタート位置、オフセット量、速度、移動量、原点位置
Z軸パラメーター	切り込み量、ゼロ点検出機能、原点位置
X軸パラメーター	移動速度、原点位置

・ユーティリティ

AC100V 2系統以上可

①下記納入場所への運搬・設置・試運転まで行うこと。(ただし、1次側電源工事は不要)

②電源についての除外項目

電圧変動が定格電圧±10%を越える様な場所。

15ms を越える瞬時停電が発生する様な場所。

③ノイズについての除外項目

一次電源に、1000V、1 μ s以上のサージ電圧が印加される様な場所。

④温度、湿度についての除外項目

露点気温度が40℃以上または、5℃以下になる様な場所。

相対湿度が40%以下または、85%以上になる場所、及び結露が発生する場所。床振動(参考としますが、床起因により本来の装置の性能が充分発揮できない場合があります。床の強度不足による共振等。)

下記 床振動を超える様な場所。

1~5Hz 0.5×10⁻²m/s²以下

5~20Hz 1.0×10⁻²m/s²以下

20~100Hz 2.0×10⁻²m/s²以下



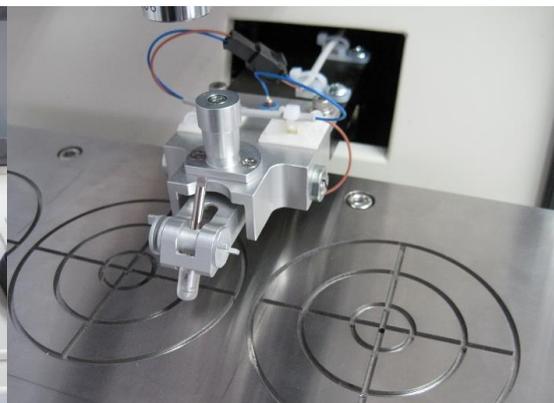
【簡易型スクライバー：正面】



【簡易型スクライバー：側面】



【簡易型スクライバー：ステージ部】



【簡易型スクライバー：カッターヘッド部】

【3】実験機による超薄板ガラスの熱割断特性評価への対応

・研究目的

製作した熱割断実験装置及び簡易型スクライバーを使用して、予き裂を形成したガラス基板を各種の Heat-knife 及び Cool-tool を使用し熱割断実験を実施。その結果を熱割断実験の開発にフィードバックする。

・研究内容

0.4mm、0.7mm厚の無アルカリガラス基板（幅75mm）に、簡易型スクライバーにて、予き裂を形成した後、熱割断実験装置にて熱割断試験を実施しながら、条件出しを繰り返した。現状では、ガラスのへ平面度に対する、Heat-knife 及び Cool-tool の平行度の問題並び、温度移動の問題、温度設定の問題等のパラメータを振りながらの条件出しを継続中である。

実験機にてガラス基板の熱割断を始める前に、コンピューターシミュレーションの解析結果を再度検証し、可能性に関して考察した。

・研究成果

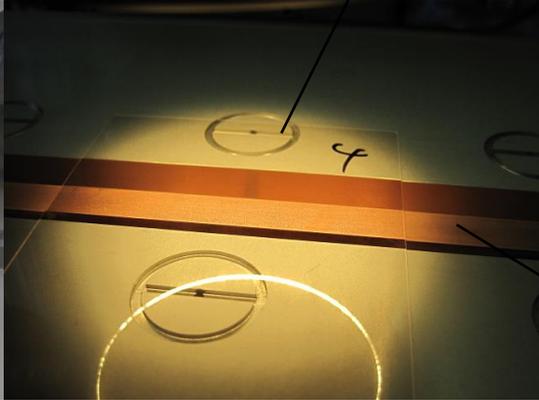
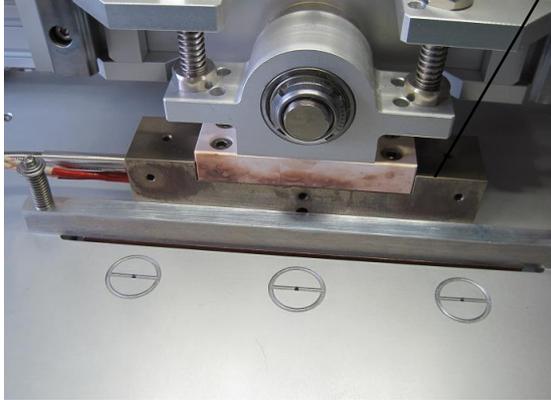
初期設定に関しては、コンピューターシミュレーション結果を踏まえた温度設定を熱割断実験装置に入力し、初期条件とした。

条件	Heat-knife 温度	設定値	300℃
	Cool-tool 温度	設定値	-10℃
	Heat-knife		Aタイプ
	Cool-tool		Aタイプ
	加圧方式		垂直式
	時間設定		1～3sec

(実験風景)

Heat-knife

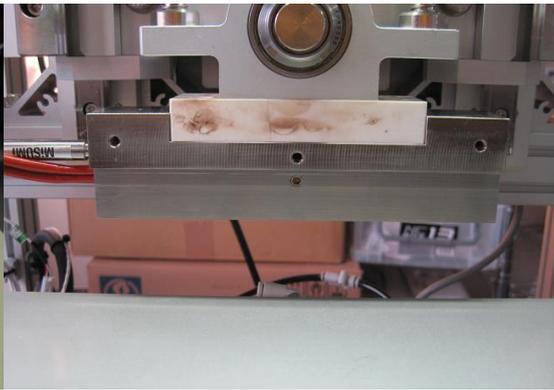
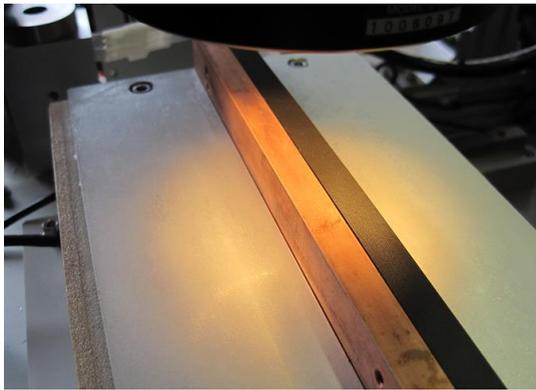
ガラス基板



Cool-tool

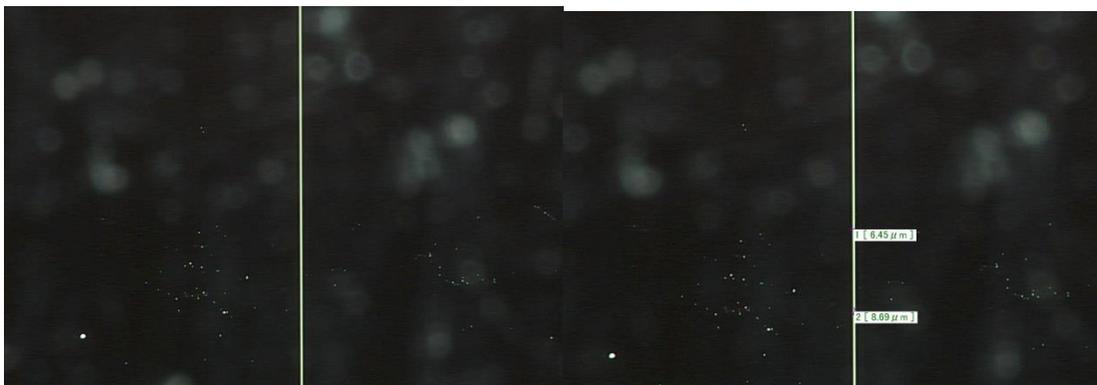
【Heat-knife ヘット部】

【Cool-tool 上のガラス基板】



【ガラス基板押さえ機構】

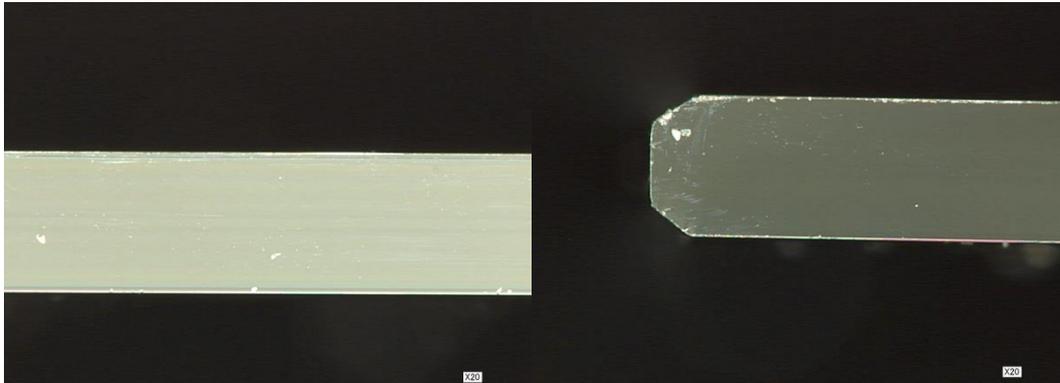
【垂直加熱式 Heat-knife】



【予き裂スクライブライン】

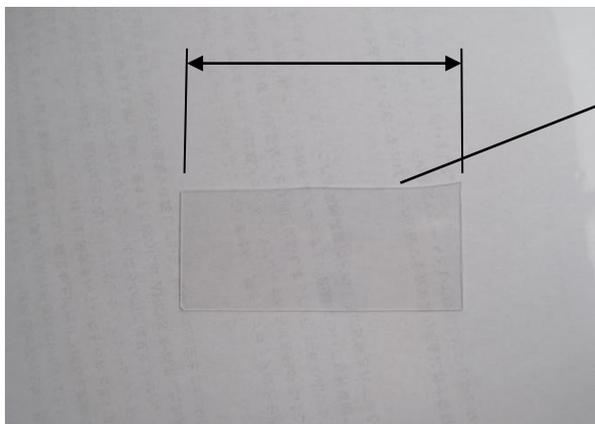
【スクライブ幅：8 μm】

初期条件でのテスト結果として、まだまだ確立は低いですが熱割断出来たサンプルについて紹介する。



【熱割断断面：中央部】

【熱割断断面：端面部】



熱割断面

【熱割断したガラス】

初期条件設定で実験中であるが、各種の実験を今後実施して熱割断実験装置の条件出し及び簡易型スクライバーによる予き裂の条件と合わせた、最適条件の検証に取り掛かっている。現状の問題として、シミュレーション結果を忠実に再現出来るシステムの確立が先行課題である。

現時点での課題点

①Heat-knife によるガラス基板への熱移動の問題

原因 ガラス表面にうねりがあると考えられる為、そのうねりを問題を解決する方策が必要。

対策案 ガラスのうねり状態を計測し、ひずみ状態に応じた方向からの加熱、冷却を試す。

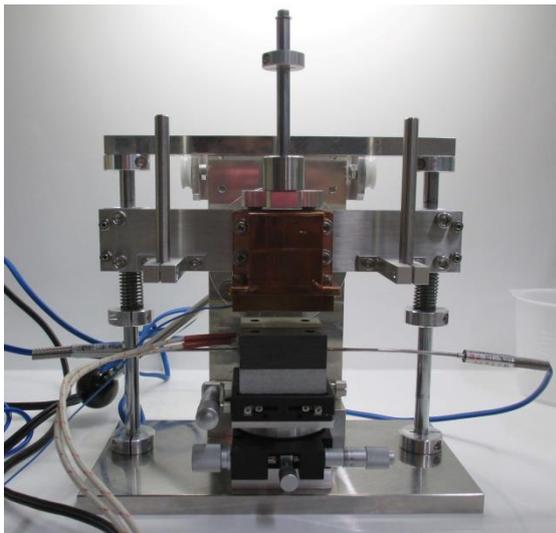
ガラス基板のうねりを解消する為、アルミ箔等の熱を伝える薄い金属を利用して熱を伝える方法で検証する。

②ガラス基板の押さえブロックの温度管理

原因 上下押さえブロックがそれぞれ Heat-knife、Cool-tool の直近にある為、時間がたつと熱伝達してしまい、Heat-knife、Cool-tool の温度になじんでしまう。

対策案 上側押さえブロック（Heat-knife 側）は、Heat-knife 部に装着するのではなく、ステージ側に取り付ける。
熱伝導性の悪い材質で検証する。

コンピューターシミュレーションを元に、中部大学にて基本検証実験を行った



熱切断装置の試作を行った。下図にその写真を載せる。上刃は低温であり、液体窒素で冷却を行っている。下刃はヒータを入れて高温にした。

実験機検証

試作装置の検証を行っている。低温刃は-100℃程度であり、高温刃は 100℃～300℃で実験を行っている。切断を行う対象はガラス及びシリコンである。

熱切断の再現性及び適正加工条件の検証

熱応力と機械応力の両方を利用した切断を行っている訳であるが、スムーズに行うためにダイヤモンド・スクライバーでサンプル表面にスクライブの有無や上下の刃の温度を変えて実験を行い、適性条件の発見に努めている。現状では、スクライブ線と刃先がどの程度合っているかが重要なパラメータであることが分かってきた状況である。

実験機改良と付加機能追加の検証

以上に述べた状況であるため、スクライプ線と刃先が合うようにするために、カメラを取付け、微調整を行う機構を今後追加する予定である。更に、刃先形状が重要であるため複数の刃先の試作を行うことを想定している。

厚さ 0.1mm ガラス板にスクライプ有り無し、刃の温度を変えて実験を行った。

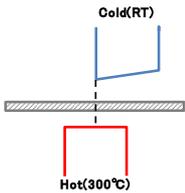
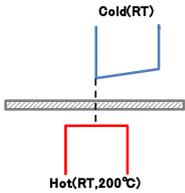
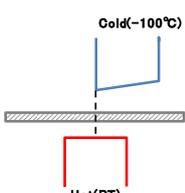
	刃の位置	スクライプ	刃の温度		備考
			低温側	高温側	
厚さ 0.1mm ガラス板		なし	RT	300°C	直線に割れずにガタガタに割れた部分もあった。荷重、衝撃は強めて割れた。断面写真：1-1
厚さ 0.1mm ガラス板		全長	RT	RT	荷重、衝撃が小さくても割れるが、我愛時もあった。スクライプに反って割れる時とずれて割れ時があった。断面写真：1-2
				200°C	荷重、衝撃が小さくても割れた。スクライプに反って割れう時があった。断面写真：1-3
厚さ 0.1mm ガラス板		全長	-100°C	RT	荷重を少し加えただけで割れた時と荷重と衝撃で割れた時もあったどちらもスクライプに反って割れた。断面写真：1-4



図 1-1
断面
写真

図 1-2 断面写真



図 1-3
断面
写真
図 1-4

断面写真

表 1-2 厚さ 0.26mmSi ウエハーのスクライブなしの割断実験結果

Heat-knife Cool-tool	RT	200°C	300°C	備考
RT	×	×	×	
-100°C	○	○	○	RT の時、欠けができた。断面写真： 1-1、1-2,1-3

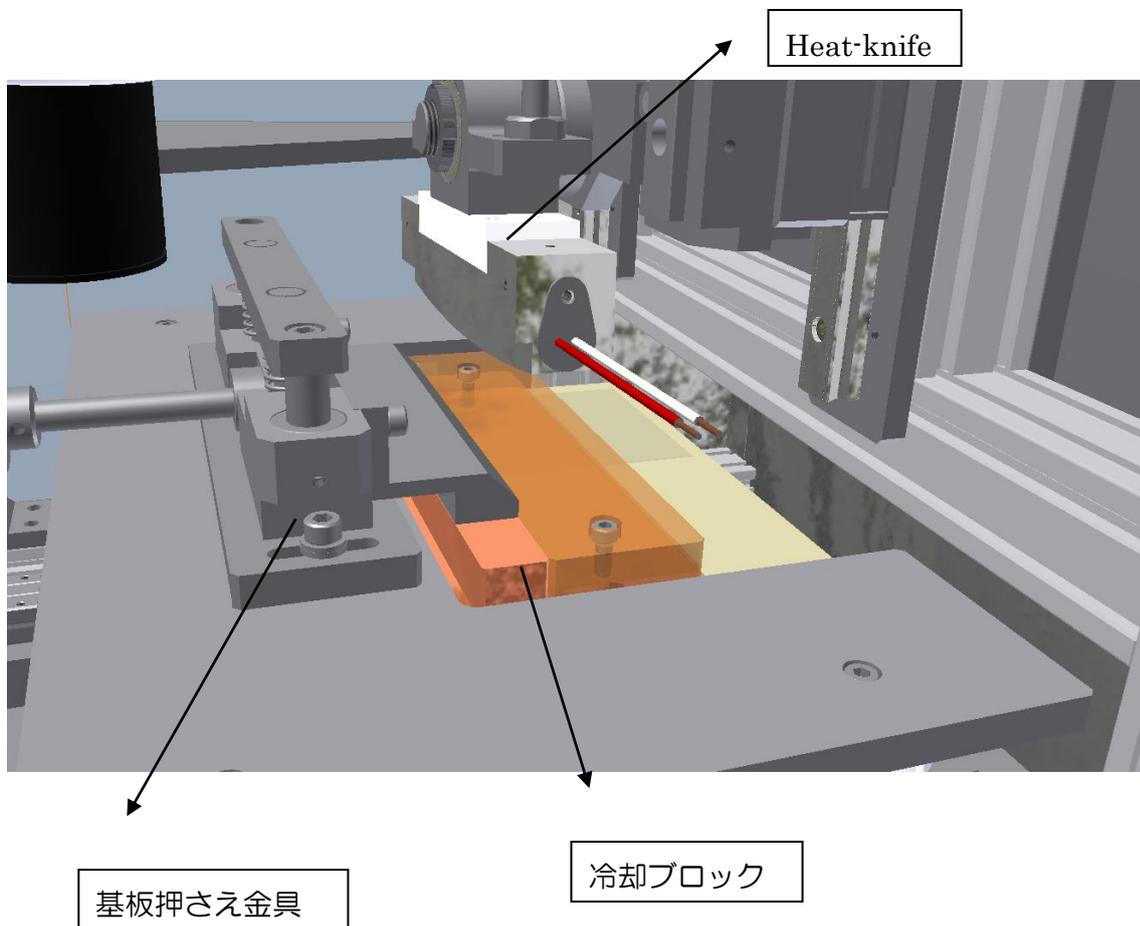
表 1-3 厚さ 0.26mmSi ウエハーに全長にスクライブありの割断実験結果

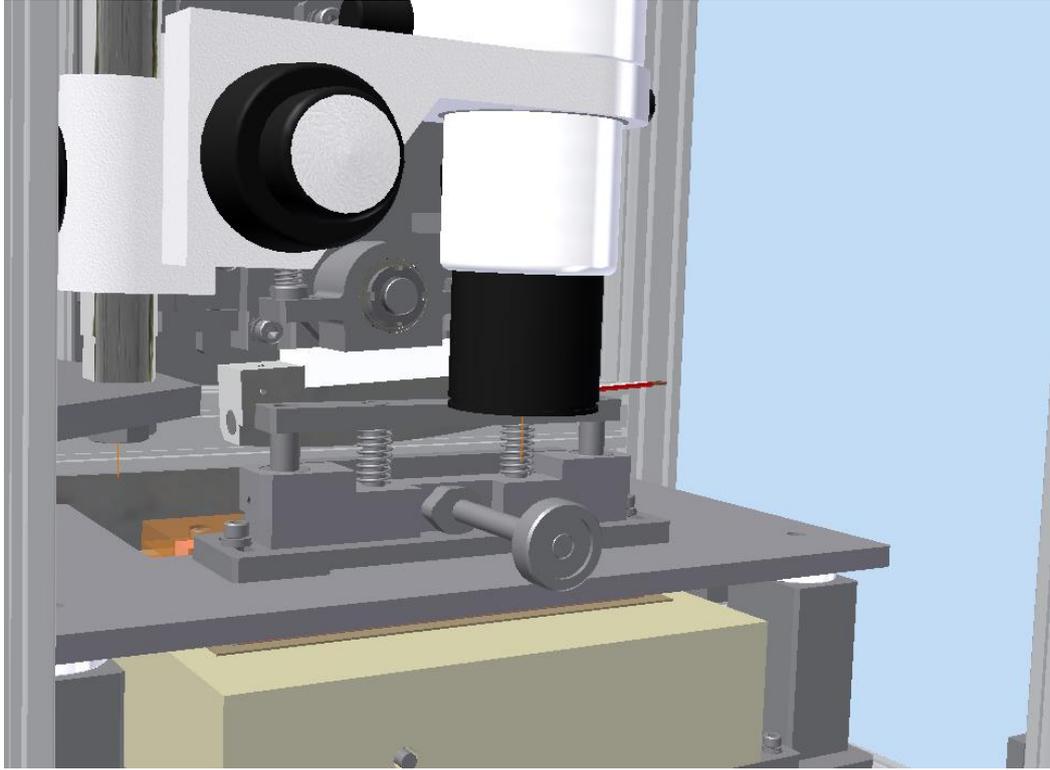
Heat-knife Cool-tool	RT	200°C	300°C	備考
RT	○	○	○	スクライブからずれた場所で割断したり、部分的にはスクライブに反って割断したり、大きな欠けが出来たりした。200°Cの時1度だけスクライブに反って直線に割断出来た。図 1-4、1-5、1-6
-100°C	○	○	○	スクライブ~ずれた場所で割断したり、小さな欠けがでたりした。200°Cの時1度だけスクライブに反って直線に割断できた。断面写真 図 1-7、1-8、1-9

株式会社エイトエンジニアリングにて、継続実験を実施した。

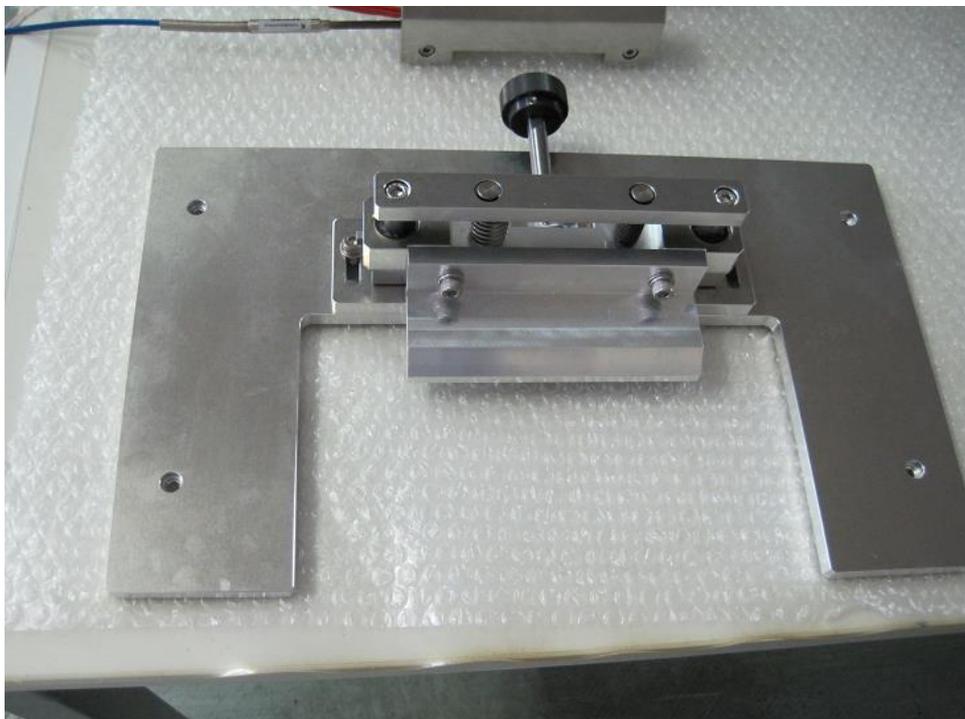
実験計画①

- ガラス基板の固定方法の変更 : バキューム吸着から、押さえ方式に変更
- Heat-Knife の変更 : フラットタイプから、R 形状に変更
- 加熱方式の変更 : 垂直方式からローリング方式に変更
- ガラス基板受けの変更 : ステージ面受けからウレタンラバーに変更
- スクライブ傷の変更 : ダイヤモンドカッターを3P から3PA に変更
- 他

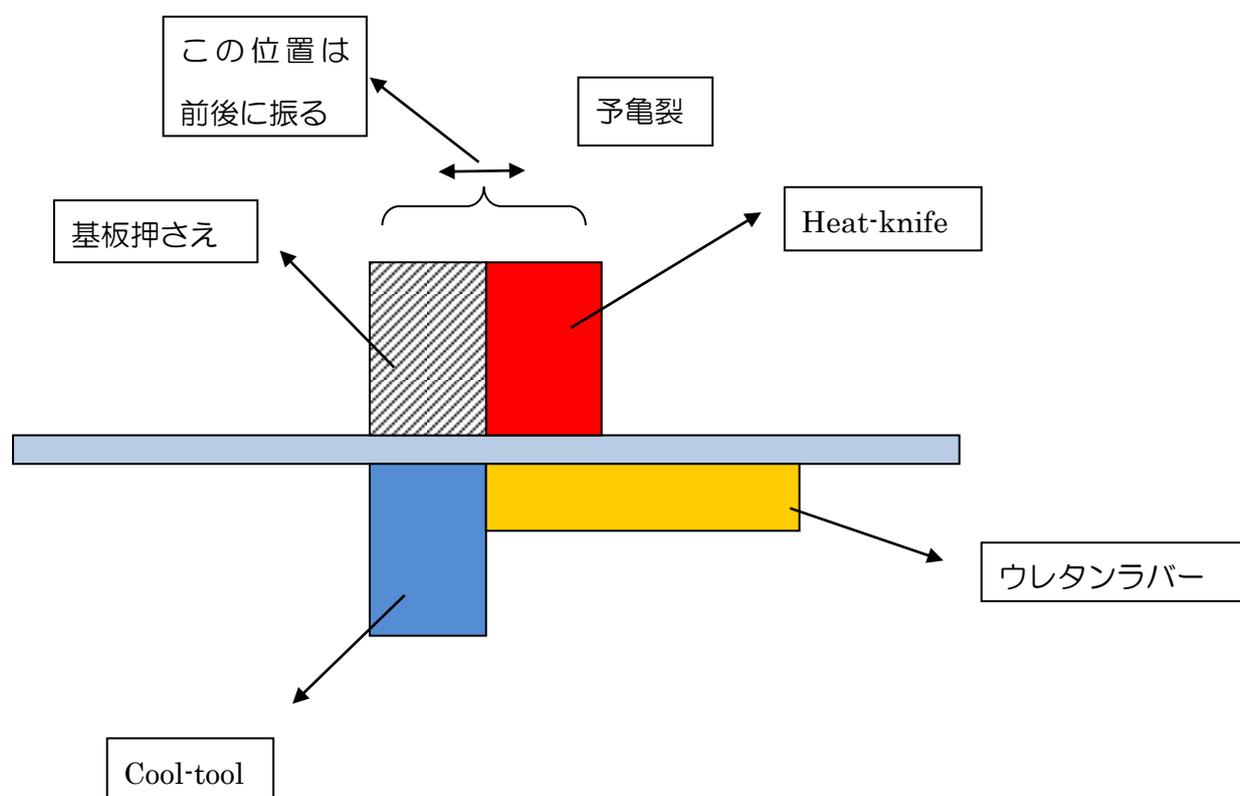
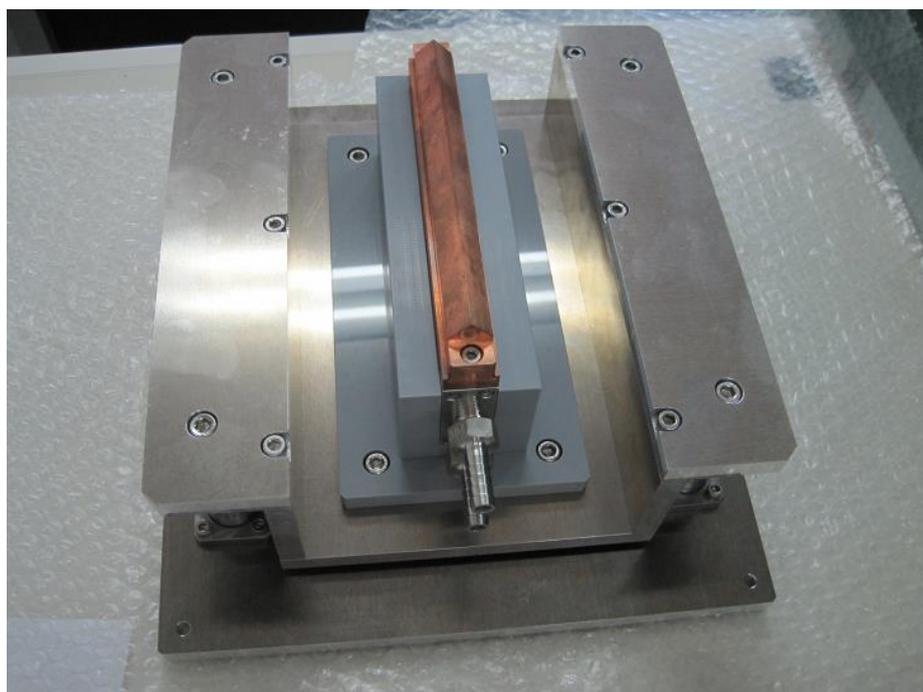




製作したガラス基板固定ジグ



冷却側ユニット部



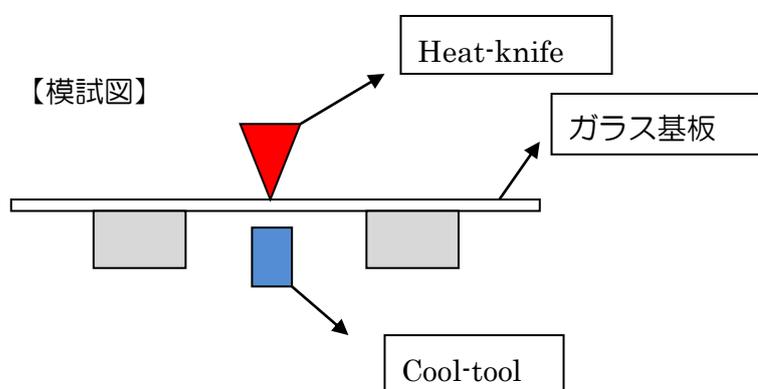
実験結果①

解析結果を元に、0.4mmガラス基板にて実験を繰り返し行ったが、ガラス基板の表面のうねりや歪の問題と、Heat-knife とガラス基板の熱抵抗の問題が浮上し、熱切断は発生するが、予亀裂基準に直線的に切断が出来ない状況となった。

熱切断実験②

ガラス基板の熱切断するラインにおいて、的確に切断するには熱による応力歪だけでなく、当初より考えていせん断応力を直接付加する事で、集中応力を発生しやすい方法で確認することとした。

基本的な考え方は下記の模式の様に考えて実験することとする。

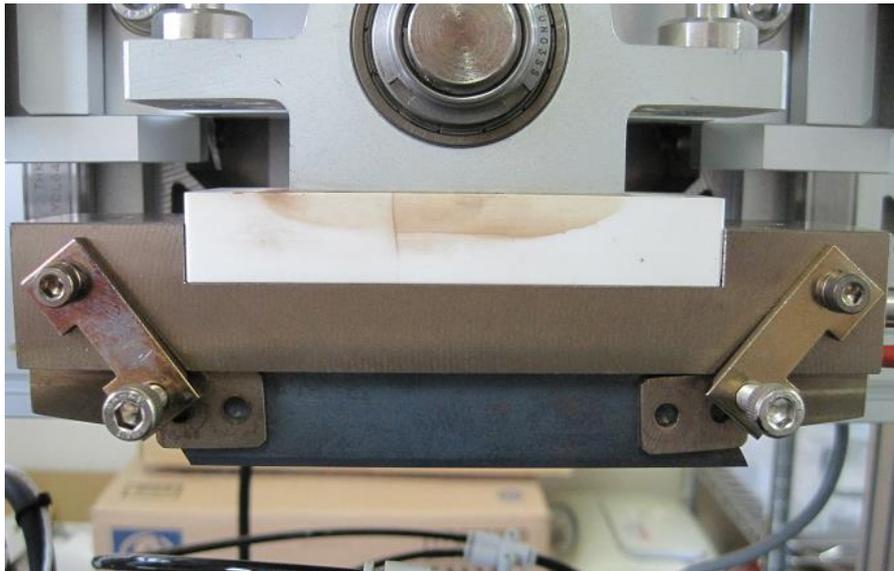


基板	0.4mm	75mm×150mm
方式	スクライブ	直線スクライブ 4PA 使用 切り込み深さ 200 μ m 速度 1mm/sec
熱切断	Heat-knief	350℃ 先端 25 μ m オルファカッター (大) Cool-tool -10℃ 先端 1mm アルミブロック

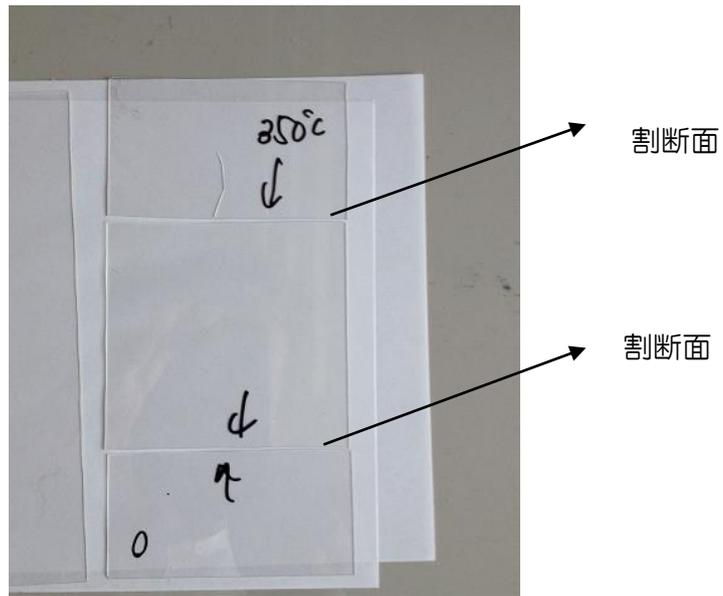
【プロセス】

- 予亀裂 ガラス基板の予亀裂面は表裏両方をテストする。
 割れが確認されたのは、予亀裂面を表面にした場合になった。
- 基板冷却 ①基板ステージに上下機構を付けて、先に基板の裏面側を冷却する。
 ②Heat-knife を加圧する。加圧力は約 200gr 加圧時間 5sec

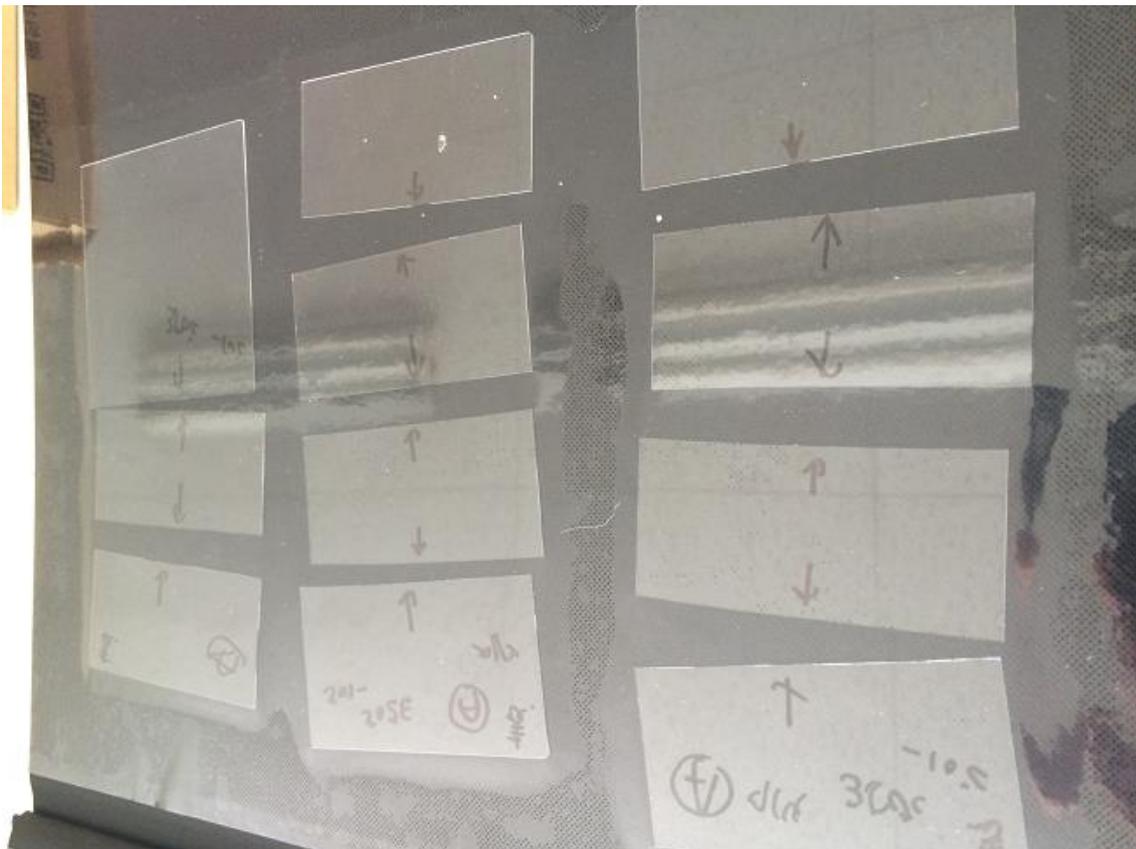
熱割断実験機に取り付けたナイフエッジ



【実験結果②】



上記写真の様に、熱割断が出来る事がわかった。同じ条件で、加熱有り無しとの両方の条件でテストを行った結果、熱により割断出来る事が判明した。



再度、温度条件や加熱時間等の条件を振りながら、再現テストを実施した。

上記写真は、定量的に確認された 0.4mm のガラス基板である。

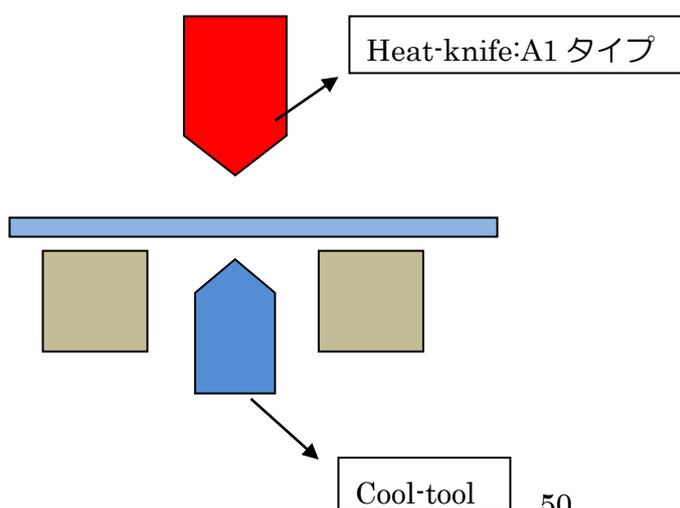
【実験②の考察】

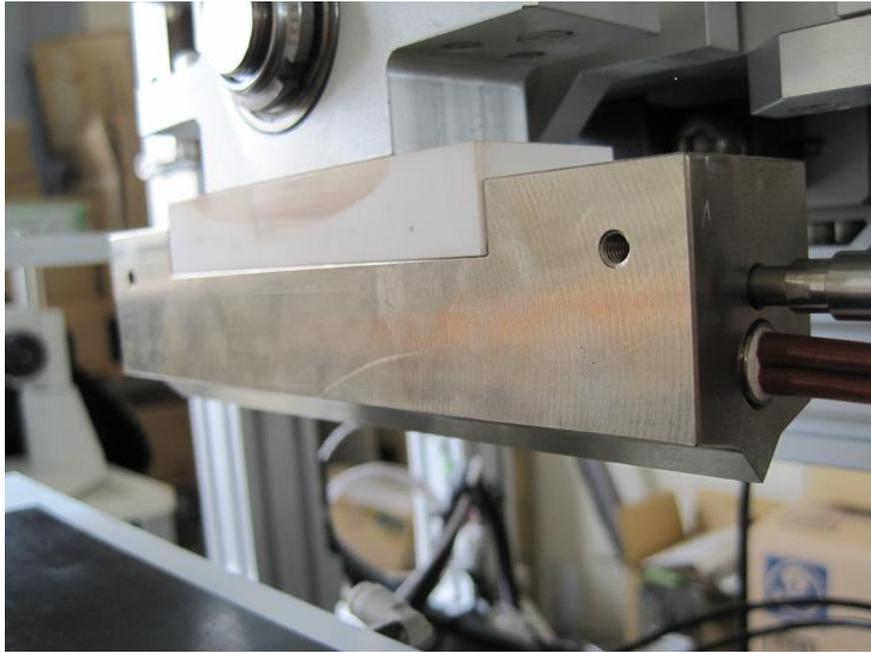
予亀裂面を下にした状態で、反対側から線状に加圧すれば、機械的にも割断が出来ることは容易に考えられるが、加圧する刃物を加熱するかしないかで、断面品質が変わるのであれば、熱割断の効果が出ると考えられる。実際に、加圧力だけで割れる状況と加熱して割れる状況では、割れる時の状態が違う様に見える。機械的に破壊される場合は、ガラスの強度が加圧力に負けた状態で破壊すると思われるが、加熱状態では、少々時間がかかる。熱の移動に時間がかかっているのかも知れない。今回の熱割断実験装置の構成（Heat-knife + Cool-tool）では、瞬間的ガラス基板に Heat-shock を与えるのは困難である。加熱された Heat-knife を効率よくガラス基板に接触させて加熱出来た場合でも、熱の移動には時間がかかる。

熱割断面の直進性が悪い理由として、ガラス基板に伝達する熱量の問題と考える。この実験では、より集中的に応用を発生させる為、先端がエッジ上の刃物を使用するため、刃物が持っている熱量が非常に小さく、ガラス基板に接触した瞬間に熱が移動してしまい、後から供給される熱用も少ない為に、熱割断に数秒の時間を要することとなったと想定される。この問題を解決及び実証する為に、熱容量の大きい Heat-knife に変更して、同じ条件で実験をすることとした。

熱割断実験③

実験②の結果を踏まえ下記の様な構成で再度実験を再開した。





Heat-knife A-1 タイプ装着状態。

実験③概要

ガラス基板	0.4mm 0.2mm 0.1mm
スクライブ条件	4PA スクライブ長さ 0.5mm
スクライブ荷重	約 30gr
Heat-knife 温度設定	300°C設定 先端温度 280°C
加圧時間	1～2sec
加圧速度	1mm/sec
Cool-tool 温度設定	-10°C

但し、熱割断時は接触していない条件でテスト

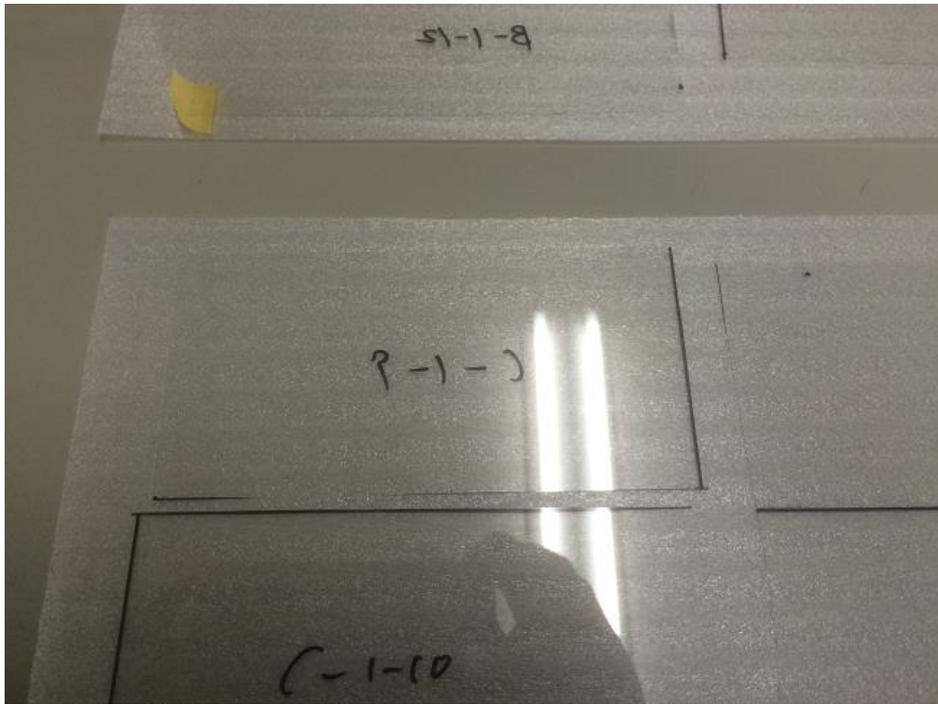
上記条件で、0.4mm 0.2mm 0.1mmの熱割断実験を行った。

【実験③結果】

実験②にてある程度の条件が判明していた為、熱割断は定量的に可能になった。Heat-knife の熱容量が大きくなったことと、Heat-knife 自体の合成が上がり熱による変形もなくなった分割断ラインはほぼ真っすぐに割断出来る事が判明した。また、Cool-tool 側の温度を上げてテストを行った結果、最終的には室温状

態でも熱切断出来る事が判明した。これは、最終的に装置化した場合、装置の構成が簡略化出来、結露対策等が不要になる為設備コストが安くなる方向になった。

(0.2mmガラス)

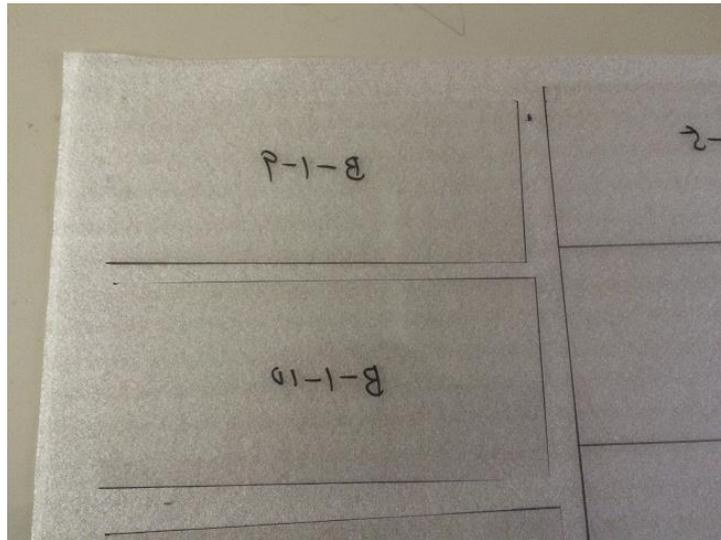


0.2mm 130mm長さを熱切断。ほぼ直進性も確認出来た



0.2mmガラス基板熱切断断面写真

(0.1mmガラス)



0.1mm 130mm長さを熱割断



【実験③考察】

実験③にて、技術的な目標は達成出来た。ガラス基板が薄くなるにつれてガラス基板の面方向への熱移動よりガラス基板の厚み方向への熱移動速度が速く、集中的に加熱出来る事が判明し、熱割断も容易に出来る事が判明した。この方式による熱割断の場合は、ガラス基板が薄くなるにつれて熱割断は容易になり、逆に基板が厚いと困難な事が判明した。市場における問題は、極薄ガラス基板の切断方式となっている為、この熱割断方式は有効と考えられる。また、裏面側を強制的に冷却することなく熱割断が出来る事が判明したのは大きな収穫であった。連続して熱割断を行う場合は、ガラス基板ステージの冷却程度で可能と考えられ、その際はチラー等での冷却水循環方式で可能となり結露問題も一挙に解決出来ることが判明した。

【4-1】試作機的设计、製作への対応-1

実験機検証

研究目的

製作した熱切断実験装置の評価、検証を行なう。要求仕様を満足しているか、熱切断実験装置の課題を改善できたかを評価する。

研究内容

- ① 製作した熱切断実験機が要求仕様を満足しているかを検査する。
- ② Heat-knife、Cool-Tool の温度調節機能について検査評価する。
- ③ メンテナンス性、操作性が改善されたかを確認する。

研究成果

・ 装置外観

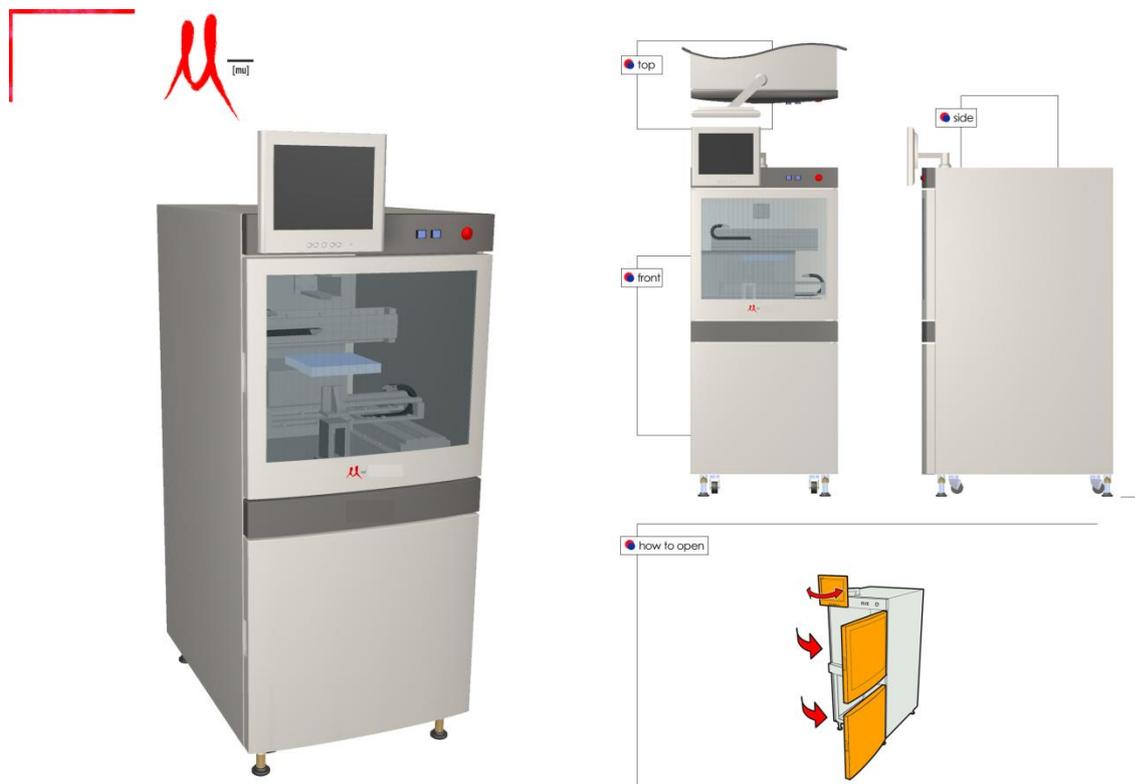


図 熱切断実験機外観図

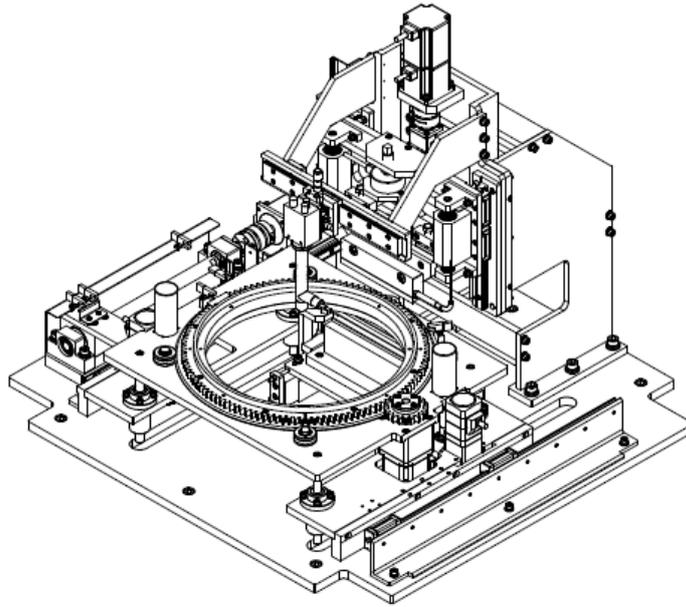


図 熱切断実験機メカ部

装置構成

- | | |
|----------------|-----|
| • カバー部 | 1 式 |
| • フレーム部 | 1 式 |
| • Y 軸ステージ | 1 式 |
| • Cool-tool 部 | 1 式 |
| • Z 軸部 | 1 式 |
| • Heat-knife 部 | 1 式 |
| • カメラ部 | 1 式 |
| • 制御部 | 1 式 |

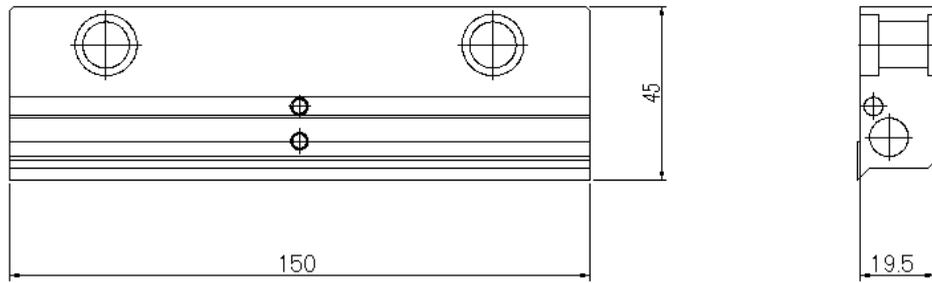


図 熱実験機用 Heat-knife

熱容量の試算

Heat-knife 材質：ベリリウム銅（比熱：0.1cal/g°C）

Heat-knife 重量：1120g

Heat-knife 熱容量：112cal/K

※Heat-knifeA-1 の熱容量：156cal/K

一方、Cool-Tool は Type A-1 と同じ形状で、熱伝導率が高い銅にて設計を行なった。

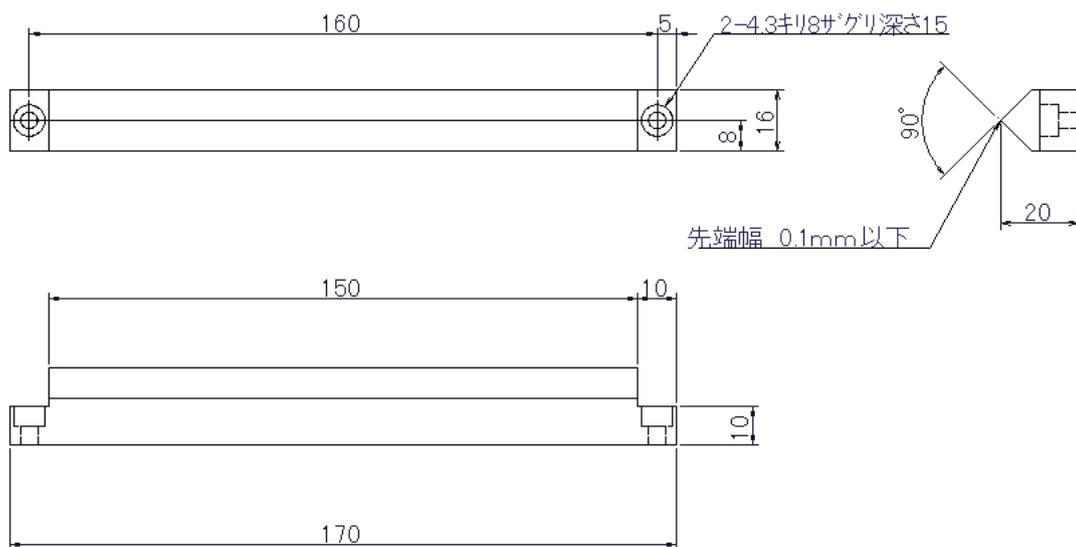


図 熱実験機用 Cool-Tool

熱容量の試算

Cool-Tool 材質：銅 X1020（比熱：0.095cal/g°C）

Cool-Tool 重量：490g

Cool-Tool 熱容量：50cal/K

※Cool-ToolA-1 の熱容量：50cal/K

加熱方式と冷却方式を決定する。

昨年製作した熱切断実験装置での熱切断の結果から、加熱方式は、熱切断実験装置と同じく、カートリッジ式ヒータを内蔵したヒートナイフとした。

また、冷却方式に関しては、熱切断において、極低温に冷却しなくても、熱切断が可能であることから、ペルチェ素子による冷却ではなく、コストが低く汎用性が高い液循環型冷却方式とした。

メンテナンス性、操作性を改善する。

昨年製作した熱切断実験装置における課題を抽出した。以下に示す。

- 予き裂と Heat-knife の位置合わせが困難。
- 荷重調整ができない。
- 予き裂と Heat-knife との平行だしができない。
- 操作性が悪い。
- ステージ高さが調整できない。

以上の課題を改善するために、以下の仕様を追加した。

- 予き裂と Heat-knife の位置合わせのために、CCD カメラを装備する。
- 荷重を管理するために、荷重測定器（ロードセル）を設置する。
- 予き裂と Heat-knife との平行だしのため、ステージ回転機構を追加する。
- ティーチングボックスにより、操作性を向上する。
- ステージ昇降機構を追加し、ステージ高さを調整できるようにする。
- 予き裂と Heat-knife の位置合わせのために、CCD カメラを装備する。

熱割断実験機



図 熱割断実験機 外観写真



図 熱割断実験機 外観写真

【4-2】試作機的设计、製作への対応-2

・研究目的

熱切断実験機においては、Heat-knife 用の熱源はカートリッジヒーターを使用している。カートリッジヒーターはコストも安く取り扱いも簡単な為メリットは多くあるが、温度制御方式において、PID 制御を取り入れるも Heat-knife の温度制御及び実際の温度にばらつきがあることが判明している。より熱切断の条件出しにおいて精度向上を図る為には、違った温度制御方式が必要と思われるパルスヒーターによる加熱方式を確認することとした。また、ガラス基板の切断部分に素早く熱を伝える為には、ガラス基板の表面のうねりに対して密着させる必要がある。その為、カートリッジヒーターを使用したコンスタントヒーター方式においては、ある一定の圧力にてガラス基板を押さえる必要がある。このような動作を行う場合、Heat-knife がガラス基板に接触した瞬間から熱移動が開始される。本熱切断の基本的な考え方は、切断しようとするラインに対して素早く熱応力を働かせ切断するもので、その熱の移動は短時間で行う必要がある。ガラス基板に素早く接触させ加熱する場合においては、Heat-knife を素早くガラス面に当てないいけない。素早くやろうとすると、Heat-knife の上下動作速度が速くなり、接触する際に衝撃力が加わってしまいます。この衝撃力が大きいとガラス基板は衝撃力にて破損してしまう事がある。衝撃力をより小さくし、熱による切断の条件を出す為には精密な Heat-knife の制御が必要になり、再現性を考えた場合非常に困難であった。この問題を解決する為に、ガラス基板面に Heat-knife が接触し加圧する時点において、熱をかけないで、十分な加圧条件が済んだ状態で加熱する方法がベストであると考え、加熱するタイミングを変えられるパルスヒーター方式を考案したのである。パルスヒーターの考えかたは、低電圧、大電流のエネルギーを Heat-knife に与え、そのジュール熱にて加熱する方式である。現時点で市販されているパルスヒーターは、そもそもの用途としては、半田付けや樹脂の接着などに使用されることを目的として市販されているが、今回の我々の研究開発には一番近い考えなので、これを使用することとした。

また、熱切断実験装置においては直線熱切断の応用として、R 形状に熱切断する研究を進めた。多くのスマートフォン用カバーガラスにおいては、コーナ

一部はR形状になっている。現状の加工方向は、直線部分を切断後、コーナ一部は砥石等でベベリングする方法が一般的である。また、カバーガラスにはボタン用の穴も明けてある。これらのR加工及び穴明けが熱切断で一挙に加工出来るとなれば大きなセールスポイントになる。専用のHeat-knifeとジグを用意して実験を継続することとした。

- 研究内容

- 熱切断実験装置の改良

- 改良ポイントは大きく2点である。

- 1：市販のパルスヒーターユニットの搭載と制御系の変更

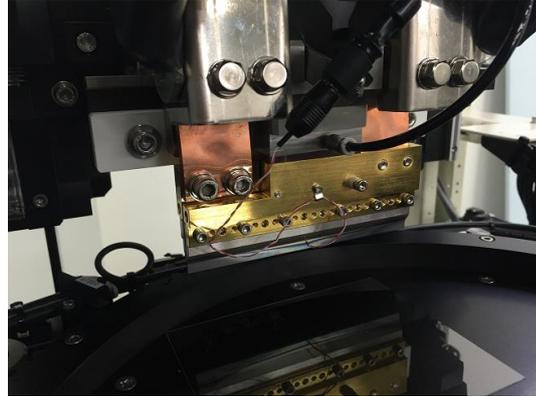
- 市販のパルスヒーターユニットは、メーカーの標準装置を選定した。

- この装置は、設定温度に対して瞬時にtoolを加熱する事が出来る。

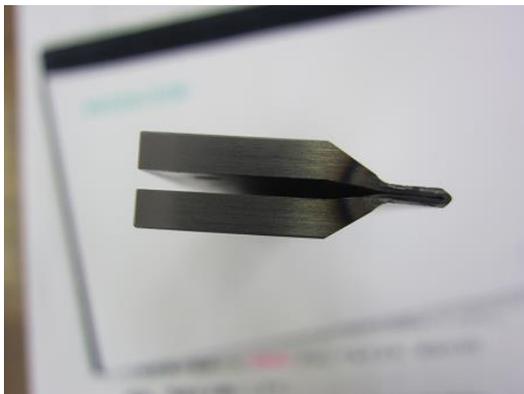
- 熱切断技術に関しては、機密上の問題もあり、メーカーにはその仕様の詳細までの開示はしなかった。昨年度完成した熱切断実験機のHeat-knife（コンスタントヒーター）部にパルスヒーター用toolを取り付け、別置き電源とコントローラーを本体上部に設置して組み込んだ。（写真01）市販のパルスヒーターユニットには標準の加熱toolが付属しているが、全長が40mmと短い為、専用tool（オプション品）で長さが100mmの物を別途購入して装置に取り付けた。（写真02）熱切断実験機の動作条件としては、マニュアルで位置決め後スタートとし、Heat-knifeを下降しその後加熱するシーケンスに変更した。この場合の位置合わせや温度設定、時間、加圧量などは予めパラメーター設定となっている。これは、コンスタントヒーター方式同じ方式である。市販のユニットの温度設定範囲は最高で600℃程度までは可能なものであるが、熱切断に必要な温度は250℃～350℃程度と思われ使用上は問題ない。購入したtoolに関しては、その電気抵抗値及び熱に対する変形や強度を考えた材質が使用されていた。また、先端の形状がフラットであった為、追加工を施し、先端を0.1mm幅にした。これは、熱切断するラインに対して、熱の拡散を極力小さくする為である。（写真03）



【写真 01】



【写真 02】

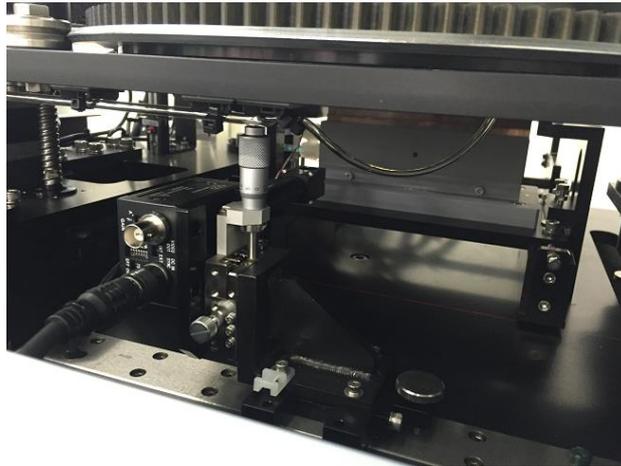


【写真 03】

2：下方認識カメラの設置

また、熱切断実験装置及び熱切断実験機に於いても、予亀裂位置と heat-knife の位置合わせに苦労したところである。ガラス基板に先に加工する予亀裂は、簡易型スクライバーやダイヤモンドカッターにて加工する訳であるが、その加工の深さは数ミクロンとなり、透明体のガラス基板では顕微鏡にて確認しても認識しづらい事が解っている。予亀裂の位置は、熱切断しようとするラインの裏側（下方）が有効的な事は、前年までの研究で実証して来た。その為、上方に位置していたカメラを下方に変更し、直接ガラス基板の裏面側の予亀裂位置を合わせる機構とした。取り付けたカメラには、拡大用のレンズが必要となる為、カメラが大きくなってしまいうので、取り付けたレンズに90°ミラーを取り付けて、省スペースで取付が可能な構造とした。また、カメラから取り出した映像には、モニター上で表示する際にクロスラインを入れる装置を追加して、モニター上で位置合わせが可能な様にした。この方法は、将来画像処理ユニットを搭載し

自動で位置合わせが可能な構成である。(写真04)



【写真04】

- 熱割断実験装置による割断検証

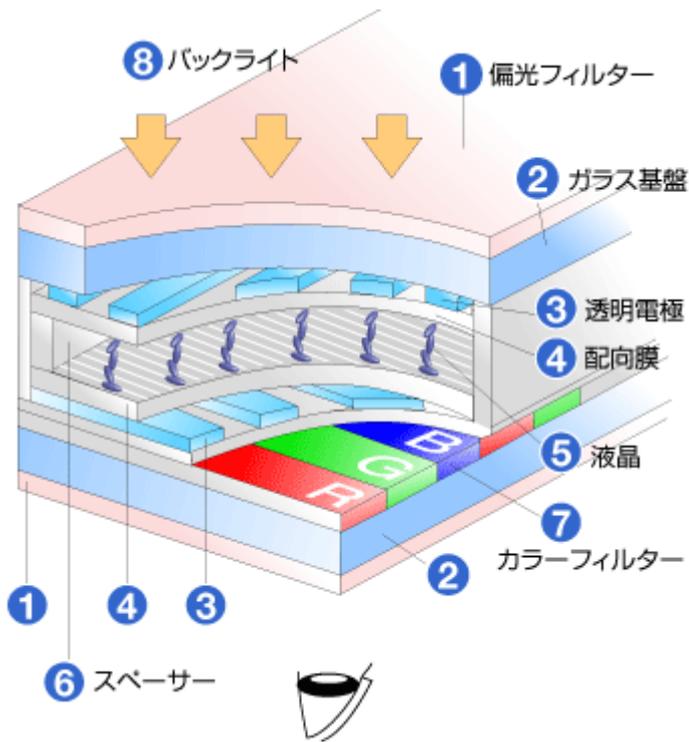
初年度に条件出し用として開発した熱割断実験装置においては、コンスタントヒーター方式にて熱割断の応用と追加実験を行った。

- 研究成果

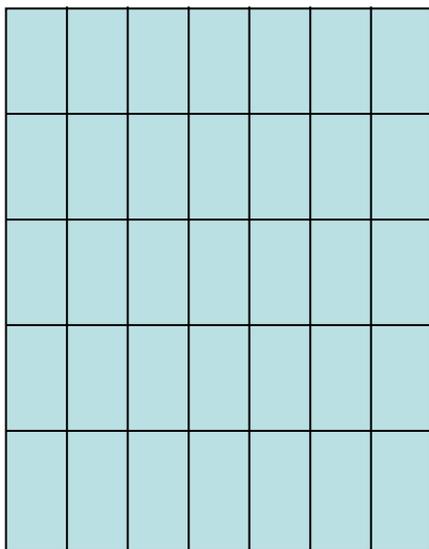
TFT 基板の熱割断実験

概要

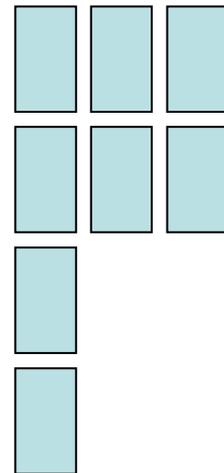
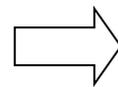
液晶基板（TFT）の製造工程にて、最終工程に大判サイズ基板より、セルサイズに切り出す工程がある。TFT 基板が、基本2枚のガラス板から成っている。上下ガラス基板の中間に、トランジスタ回路、カラーフィルター、液晶、配向膜などが形成されている。(参考図参照) 大判サイズからセルサイズに切り出す場合は、切り代が設けられていて、その部分より切断してセルを取り出す様になっている。現在の生産工程では、両面よりダイヤモンドホイールにてスクライブ傷を形成し、折り曲げる事により割ってセル基板を取り出す方法が一般的である。熱割断技術を使って、この2枚構成の TFT 基板の熱割断を実施し、可能性と問題点を抽出することとした。



【TET の基本構造】



【大判ガラス】

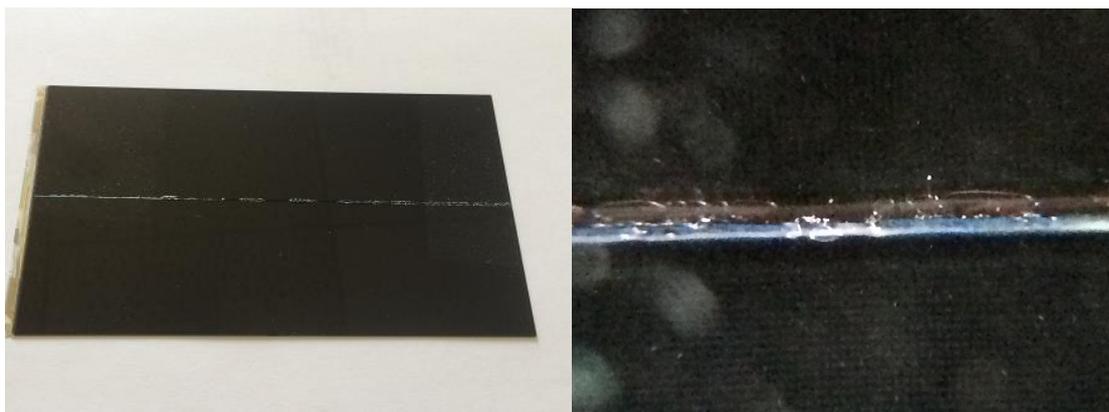


【切断工程】

結果

TFT ガラス基板の表面に予亀裂を形成し、その部分を Heat-knife にて加熱した。結果、2枚ガラス構成の上面（表面）ガラスは熱割断出来た。TFT 基板の中央部にて熱割断した為、内部の液晶が隙間より表面に出てきている。

（写真 ）



【写真 】

【写真 】

TFT は、2枚ガラスの中間部に参考図の様に隙間があり、その部分に回路が形成されている。その為、表面よりの熱はその隙間にて遮断されている。その為、熱応力は、Heat-knife が接触したガラスのみに働き、上面のみが熱割断された。

光学部品サンプルテスト

基板情報

製品面	ミラー
材質	BK7 蒸着ガラス 二酸化ケイ素を含む金属酸化物
厚み	0.3mm
サイズ	(50X40mm)
枚数	1枚
その他	基板に反りあり。約1mm

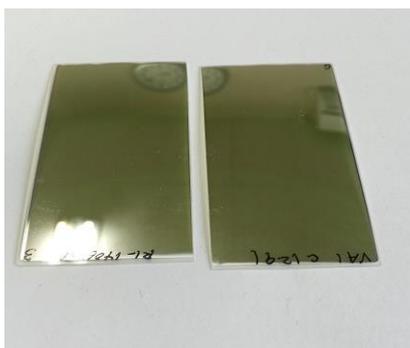
使用機器

スクライブ (株)エイト・エンジニアリング製オリジナルスクライバー
型式：MP-ESP1

熱切断装置 (株)エイト・エンジニアリング製オリジナル熱切断実験装置
型式：MP-HCP1

実験

サンプルワークのサイズが小さい為、スクライブ及び熱切断装置加工ステージに専用ジグが必要である。今回は、応急的に対応したが、熱切断装置においては基板の固定が出来ない（真空吸着）為、フリーの状態で行った。確実に固定出来れば、熱切断の条件も変わってくると思われる。基板自体に反りがあるのは内部歪が大きいと思われる為切断自体は容易に行えた感じがあるが、吸着していない為割れる時にステージより落下した。吸着を確実に行う必要がある。予亀裂加工時も基板がそっている為、大きなストレス（スクライブ傷）は危険である。また、蒸着方向（表裏）が判断出来ない為、マーキング（凸側）に加工したが、裏面側でもテストする必要がある。



【熱切断後】



【断面：中央部①】



【断面：中央部②】



【端面部】

試作機による生産性、工程能力の検証

研究目的

熱切断実験機改良を実施した後に、熱切断実験を実施し、その能力や可能性、及び問題点などを明確にし、評価した。新たに取り付けたアイテムに関してもいろいろな角度より検証し、今後の開発に向けての実験を行った。特に次世代の難切削材料（サファイアやSiCなど）の対応が可能か評価しノウハウを積み重ねることを目的として実験を行った。

研究内容

熱切断実験機に新たに採用したパルスヒーターユニット（日本アビオニクス製）の能力検証を行った。本ユニットは、本来接着や溶着用の機器である為、その温度設定に関して、細かく設定が出来る様になっている。また、tool部の温度計測には熱電対がついているが、実際の温度計測には時間がかかってしまう事が実験を通じて判明した。

熱切断では、切断しようとする基板に Heat-knife が接触する際に、その熱の移動方向とその速度が重要なポイントとなる。材料が持っている熱伝導率との関係もあるが、熱が平面上（表面平面）に移動する前に厚み方向へ熱が伝わる理屈を利用している。その為、薄い材料は Heat-knife に対して垂直方向への熱の移動が熱切断につながる事になる。その為には、素早く Heat-knife を加熱する必要がある。

5-1 事業化の検討

-1) 極薄板ガラス PR 用資料を作成し、対象ユーザーに PR を行った。

熱切断技術の紹介

-1) 素材メーカー

4社

-2) デバイスメーカー

2社

-3) 加工メーカー

・1社

-4) 装置メーカー

・3社

薄板ガラスの熱切断技術開発

株式会社エイトエンジニアリング

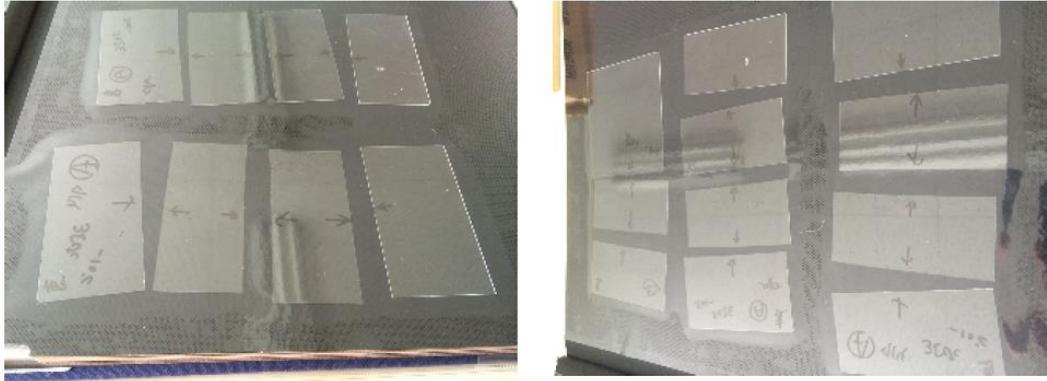
Eight Engineering Co.,Ltd.

八江正信の経歴説明

- ・ 1986年 レーザーダイオード用ポイントスクライブ装置 特許申請
特願 昭61-6020 特許取得 (日立製作所)
- ・ 1986年 板状物分断装置 特許申請
特願 昭61-175614 特許取得 (日立製作所)
以後、前職の会社にて、1000台以上の販売実績があります。
- ・ 2001年 短パルスレーザースクライブ装置開発。
日亜化学工業へ販売
- ・ 2004年 日立金属株式会社と炭酸ガスレーザーを使った、ガラス基板の熱切断
技術開発を進める。
- ・ 2007年 学校法人中部大学山口研究室で、電子ビームによるシリコンウエハーの
熱切断研究に参加する。
- ・ 2010年 Heat-kniefを使用した熱切断技術の研究を始める。
- ・ 2012年 Heat-kniefによる熱切断技術特許申請 特願2012-209904
- ・ 2013年 経済産業省 戦略的基盤技術高度化支援事業採択される。
同年プロジェクト開始
- ・ 2014年 脆性板の熱切断方法 特許申請 PY20140178
H26年度戦略的基盤技術高度化支援事業継続契約

Eight Engineering Co.,Ltd.

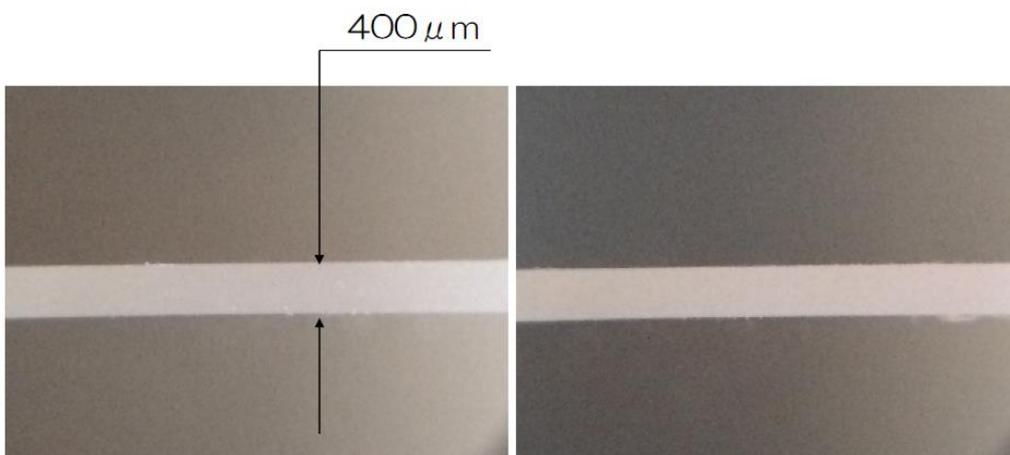
0.4mmガラス 熱割断サンプル (Heat-knife B-2+ナイフエッジ)



0.4mm x 75mm (幅) サンプルガラス基板

Eight Engineering Co.,Ltd.

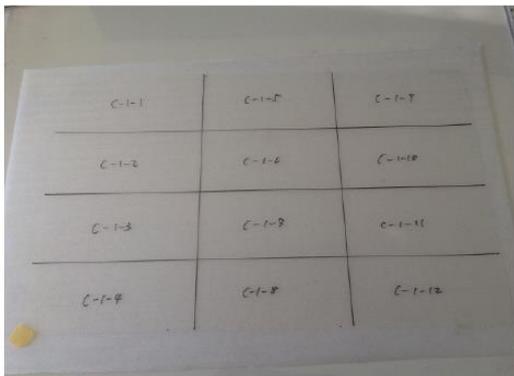
0.4mm 熱割断サンプル断面



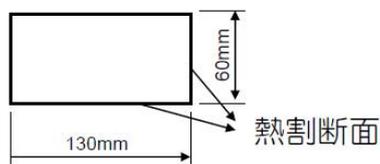
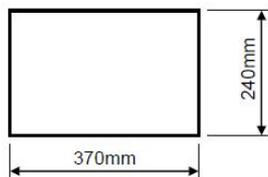
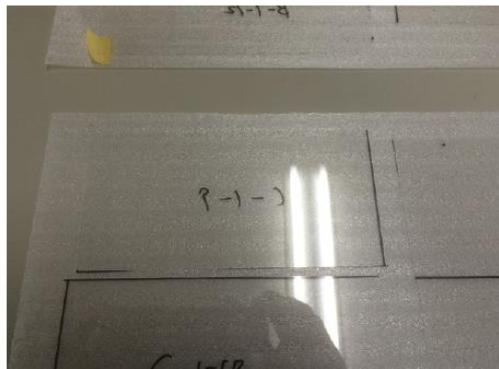
Eight Engineering Co.,Ltd.

0.2mmガラス 熱割断サンプル

ガラス基板



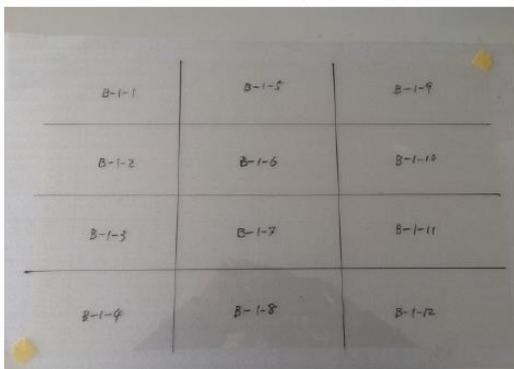
熱割断したガラス基板



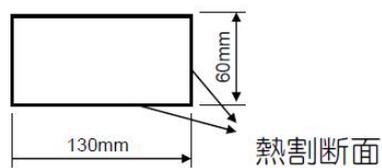
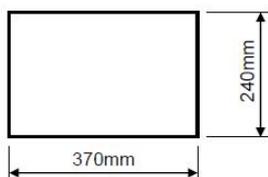
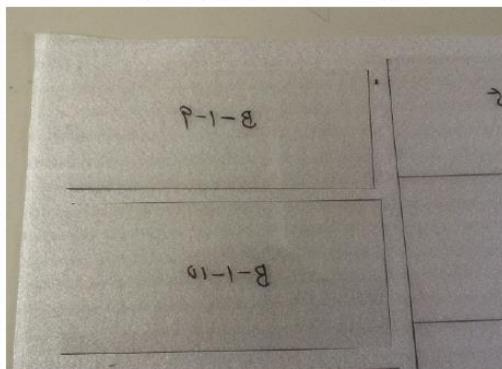
Eight Engineering Co.,Ltd.

0.1mmガラス 熱割断サンプル

ガラス基板

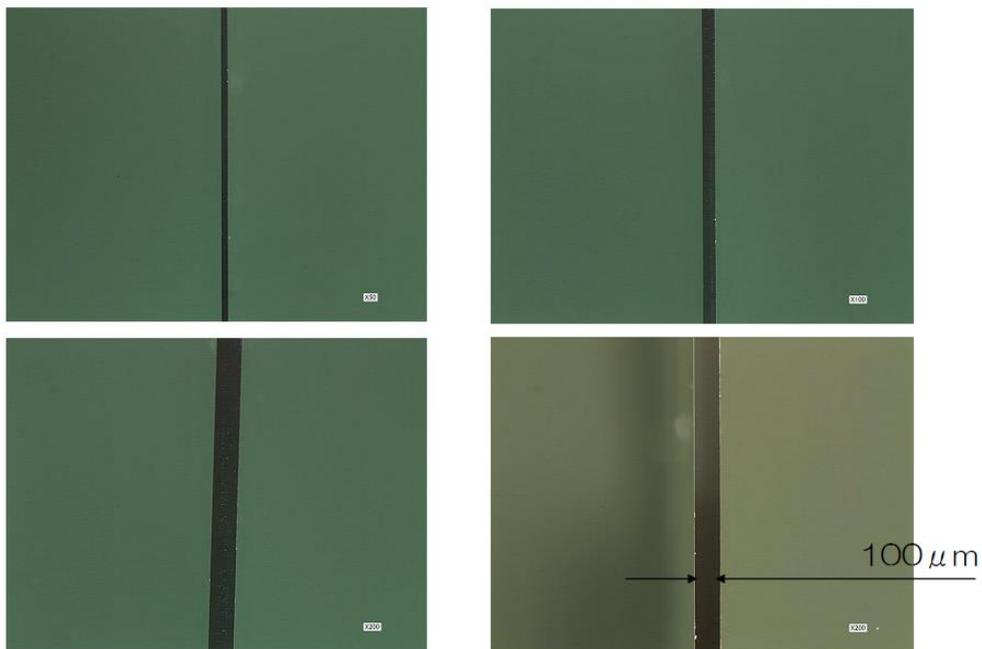


熱割断したガラス基板



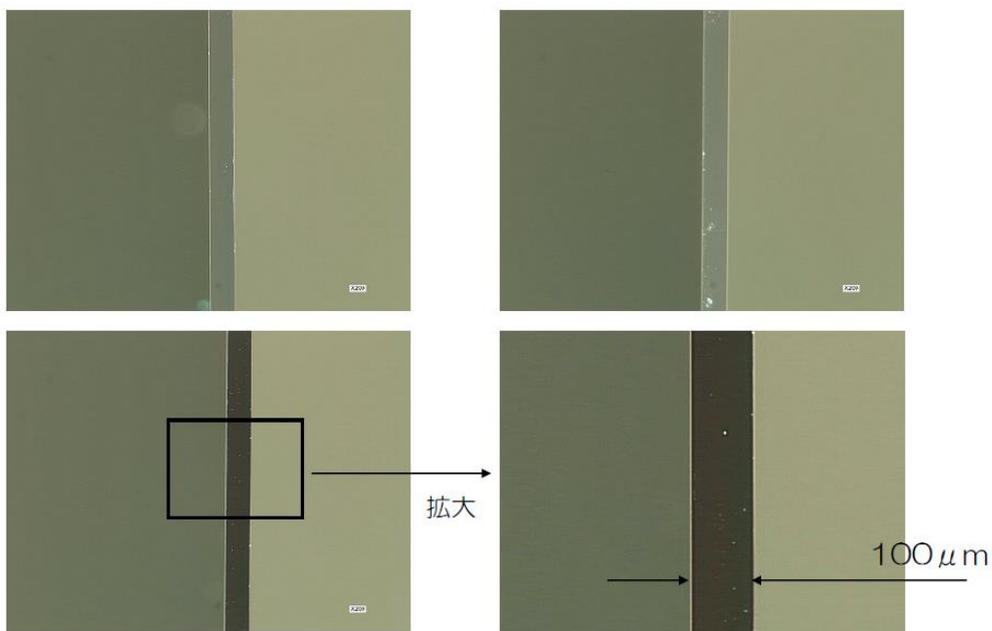
Eight Engineering Co.,Ltd.

0.1mm 熱割断サンプル断面①



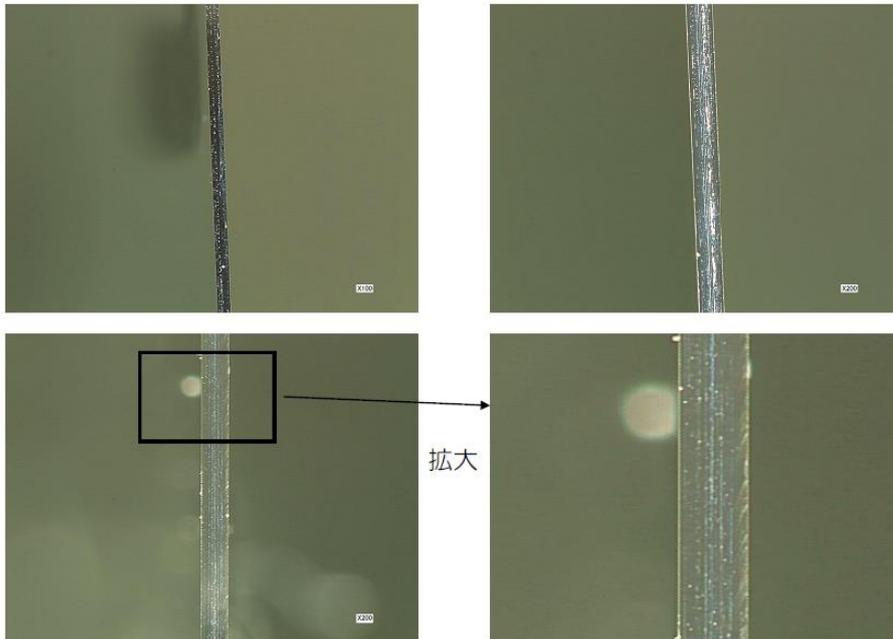
Eight Engineering Co.,Ltd.

0.1mm 熱割断サンプル断面②



Eight Engineering Co.,Ltd.

参考写真：0.1mm 素材端面写真



Eight Engineering Co.,Ltd.

実験機構想図



Eight Engineering Co.,Ltd.

【完成した熱割断実験機】



Eight Engineering Co.,Ltd.

最終章 全体総括

本研究では、ガラス基板等で起こる、ヒートショックを応用した技術開発を行った。材料が持っている特性を利用する事で、従来の加工方法に比べ、多くのメリットがあると同時に、その性格上の問題点もあることは、開発当初より理解していたところである。メリット部分を生かす為にデメリットの範疇を極力明快にその対応策を研究開発の中で解決することはテーマとなった。

ガラス産業に関して日本は世界をリードする位置にあり、多くの分野で活用されていることは周知の事実である。特に、次世代においてはあらゆる産業の中でその使用範囲は多くなると思われ、ガラスメーカーも製品開発に邁進している。特に、超薄板ガラスにおいては、新たな産業を生むところまで来ていると思われる。

本研究の本来の目的は、次世代表示装置に使用される超薄板ガラスの熱切断技術の開発である。薄くて硬い物をカットしようとする場合には、多くの問題が発生し、従来の工法では限界に来ている。従来工法とは、ダイヤモンドソーによる切削加工やレーザーを使った加工があるが、いずれも超薄板ガラスになると技術的に困難な領域となっている。本熱切断技術を応用すれば、その原理より、より薄いガラス程簡単に切断出来る事が本研究で解明された。これは、まさにこれからの問題解決の決め手の一つになることと思っている。

しかしながら、研究開発を進める上での問題点も出てきている。良い技術、良い方法でも生産現場にて、使ってこそ生きるものである。実際の生産現場にて使用するには、現状の工程内で使用出来る事が第一条件となる。その為には、いち早く生産現場にての評価が必要である。事業化に向けての今後ユーザーにPR、プレゼン活動を予定しているが、ユーザーがメリットを感じなければ、現場での採用は困難と考える。

本研究の3年間の間にも、超薄板ガラス基板を使った製品市場においては、大きな変化があった。当初の目標としていた液晶分野においては、海外メーカーの躍進と国内メーカーの弱体化が進み、市場が大きく変わってきている。その中でも新たなアイテムも出て来ている。有機ELである。有機ELは次世代の表示装置として有望な技術、製品である。次世代のテレビや表示器、携帯端末やウェアラブルコン

コンピューター等には多く使用されると予測できる。有機 EL 表示器のベース基板に超薄板ガラスを使用する製品も近々に市場に出てくると思われる。各種情報によると、0.035mmの超薄板ガラスを使用するとのうわさもある。

また、市場としても、自動車用のメーター表示器など新しい分野でも市場見込みがあり、大きなビジネスになる可能性もある。本熱切断技術は、この超薄板ガラス：有機 EL 用の生産に寄与出来る技術と思われる。

本研究における波及効果として、ガラス基板以外の脆性材料の加工についても研究した。その中で大きな成果としてはシリコンがある。シリコンはご存じの様に、半導体デバイスのメインの材料である。半導体チップにおいても薄板化技術が進んでいる。NAND 型メモリーにおいては、記憶容量をより多くする方法として、チップは積層型に現在なっている。現時点では最高40層にもなっている。今後ますます、記憶容量が増大するにつれ、100層まで行くだらうと予測されている（インテル談）この、積層型メモリーの一枚の厚みは数 μm になると思われ、ますます薄くなっている。本技術は、薄い材料程加工がしやすい方法で、これらの切断には十分な可能性がある。

また、もう一つの市場としてLEDがある。蛍光灯がLED照明に変わりつつある現代社会で、その光源となっているの白色LEDである。白色LEDは、GaN（窒化ガリウム）をサファイア基板上に気相成長させて作られている。サファイア基板を使う理由としては、その強度や熱伝導率と透明性である。LEDは面発光レーザーと呼ばれ、GaNの表裏両面より光を発光する。サファイア基板面である裏面側からも光が出るのである。チップ状にカットされたサファイア基板の裏面、側面からも光が出るのである。この光を如何に多く外に取出すかが、LEDの発光効率をあげるポイントのひとつとなっている。熱切断でカットした、サファイアの端面は非常に綺麗な端面が出来る為、レーザーで切り出した端面よりはるかに綺麗な端面が得られる。LEDは、今後、全世界で数多く使用され、将来は、すべての照明器具はLED化されると考えられる。LEDの発光効率の向上に貢献出来る技術と考える。今後の事業化の中ではLEDメーカーにおいて、実証試験をするのが大きな目標となる。

以上