

平成 20 年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「ロー付け法によるダイヤモンド固定ワイヤーソーの開発」

研究開発成果報告書

平成 21 年 3 月 30 日

委託者 近畿経済産業局
委託先 堺商工会議所

再委託先 株式会社 中村超硬
公立大学法人 大阪府立大学
株式会社 エフ・エー電子

「この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等または未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取り扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成 11 年法律第 42 号）に基づく情報開示請求の対象の文書になります。」

・

目 次

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	1
1-2 研究体制	2
1-3 成果概要	6
1-4 プロジェクト連絡窓口	8

第2章 本論

2-1 大阪府立大学	9
②低温ロー材の開発【1-1-2】	9
○極低温ロー材（Sタイプロー材）の開発	9
⑨連続でワイヤー表面を活性化する方法の開発【1-3-1】	9
2-2 株式会社 エフ・エー電子	10
⑥遊離砥粒式ワイヤーソーマシンの ダイヤモンド固定ワイヤーソー方式への改造方法の研究 【1-1-6】	10
⑫長尺ワイヤーソーの試作と評価【1-3-4】	12
2-3 株式会社中村超硬	
1) 素材の最適化の研究【1-1】	14
①ワイヤー素材、ダイヤモンド素材・ロー材など構成素材の 検討【1-1-1】	14
②低温ロー材の開発【1-1-2】	14
③ダイヤモンド固定状態の基準性能評価【1-1-3】	15
④細線化の可能性の追求【1-1-4】	16
⑤競合商品の切削能力の定量的評価【1-1-5】	16
⑥遊離砥粒式ワイヤーソーマシンのダイヤモンド固定 ワイヤーソーへの改良法の研究【1-1-6】	17
2) 短尺ダイヤモンド固定ワイヤーソーの試作【1-2】	19
3) 長尺ダイヤモンド固定ワイヤーソーの製造方法の確立と 製造装置の製作【1-3】	19
⑨連続で表面を活性化する方法の確立【1-3-1】	19
⑩ダイヤモンド付着装置の開発【1-3-2】	19
⑪長尺ワイヤーソー製造装置の開発【1-3-3】	21
⑫長尺ワイヤーソーの試作と評価【1-3-4】	21
4) 社内外での電子材料別テスト加工による開発品の 性能評価【2】	21
⑬データ・ベースの構築【2-1】	21
⑭サンプル出荷【2-2】	23

第3章 全体総括	23
----------	----

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

1-1-1 研究開発の背景

我が国の産業の基盤を為す、電子材料の加工技術の高度化は、波及効果が広く、日本のあらゆる産業の底上げに有効である。中でも、電機機器や自動車業界の川下製造業者においては、高機能電子材料のワイヤーソーによるスライス加工は、材料歩留まりや加工コストに大きな影響をもたらす、最重要加工工程として位置付けられている。

現在、Si、単結晶 SiC、単結晶サファイヤ、磁性材料など電子材料をブロック形状から所要の薄板形状に加工する為には、遊離砥粒式ワイヤーソーによってスライス加工することが主流である。当該加工技術において川下製造業者からは、下記の如く多くの課題とニーズが提起されているが、現時点ではこれらを有効に解決することは出来ていない。

(現状技術＝遊離砥粒式ワイヤーソーの課題)

①スラリー、ピアノ線などの消耗品コストが高く、加工コストを押し上げている。

(一台のワイヤーソーマシンにおけるスラリー廃棄量は、最大で 200 リットル/日)

②加工速度が遅く、高価なマシンでありながら生産性が低い。

③切削能力が低い為、ワイヤーを細線化しての材料歩留まり向上が難しい。

④スライス加工後の洗浄コストが高価になる。

⑤大量のスラリーやピアノ線の廃棄を必要とし、地球環境への負荷が大きい。

⑥スラリーの油の臭い、加工中の発熱により、作業環境が劣悪である。

⑦通常 SiC 砥粒のスラリーでは超高硬度材料は加工できず、ダイヤモンド砥粒ではスラリーは極めて高コストのスライス加工となってしまう。

⑧切削液が油であるので、切り屑の回収が困難である。

(スライス加工工程の改善ニーズ)

1. 消耗資材を激減させることで、生産工程の省資源化を達成する。

2. 切断速度を飛躍的に上げることで生産性を向上させる。

3. 高価な電子材料の歩留まりを向上させる為、切断代を小さくする。

4. 切削液を水にして洗浄コストを低減する。

5. 高精度スライス加工を実現することで、デバイスの軽薄化を支援する。

6. 従来技術では加工が不可能であった超高硬度材料のスライス加工を実現する。

7. 切削液を水にすることで、スラリー（油、砥粒）の廃棄を無くし、切り屑回収を可能にする。

1-1-2 本研究の目的と目標

本研究では、切削能力に優れたダイヤモンドを、ロー付け手法でワイヤーに固定し、長寿命で低価格の新規なダイヤモンド固定ワイヤーソーを開発し、電子材料加工の最重要工程であるスライス（薄板切り）工程の切削技術を高度化し、日本の重点産業である電機機器、自動車業界の課題やニーズ解決の為、高精度・超精密加工対応及び高硬度材加工対応と言う高度化目標を達成して、国際的な競争力確保に貢献する。

1) 高度化目標

(1) 高精度・微細化に対応した技術開発を行う。

形状精度向上に資するダイヤモンド固定ワイヤーソーの優れた切削性能により、高精度スライス加工を行うことで被加工物の高精度化（表面性状、形状精度）を可能とする。

(2) 高効率化に対応した技術開発を行う。

優れた切削性能で、スライス加工速度が飛躍的に高まり加工時間が大幅に短縮される。

(3) 高付加価値化に対応した技術開発を行う。

超高硬度であり難加工な単結晶 SiC、単結晶サファイヤ等の材料の加工手法を開発することで、スライス加工の高付加価値化を図る。

(4) 環境対応に向けた技術開発を行う。

ダイヤモンド固定ワイヤーソーでは切削液として水のみが必要であり、切削液の水溶性化を図れ、環境負荷を小さくできる。更にワイヤーソーが長寿命なので廃棄するワイヤー量が激減するとともに、油や砥粒の廃棄がないので消耗資材が少なく、省資源化に大きく貢献する。

2) 技術目標値

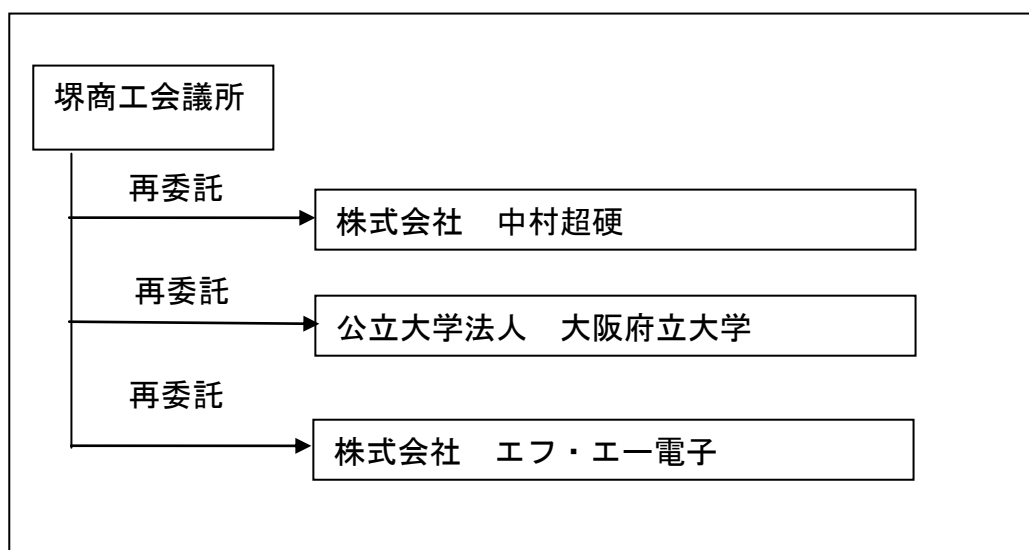
本研究開発の成果として製造されるダイヤモンド固定砥粒式ワイヤーソーについては下記数値の達成を目標とする。

- ①製造コスト低減 ⇒ 販売価格 20 円/m
- ②長寿命化 ⇒ レジン法の 3 倍以上
- ③細線化 ⇒ $\phi 0.1\text{mm}$
- ④低公害加工化の実現 ⇒ 水加工の実施確認
- ⑤マシンの生産性 ⇒ 2 倍以上
- ⑥高硬度材料の切断 ⇒ SiC、サファイヤの切断能力確認

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織及び管理体制

1) 研究組織(全体)



総括研究代表者 (P L)

株式会社 中村超硬

代表取締役社長

井 上 誠

副総括研究代表者 (S L)

公立大学法人 大阪府立大学

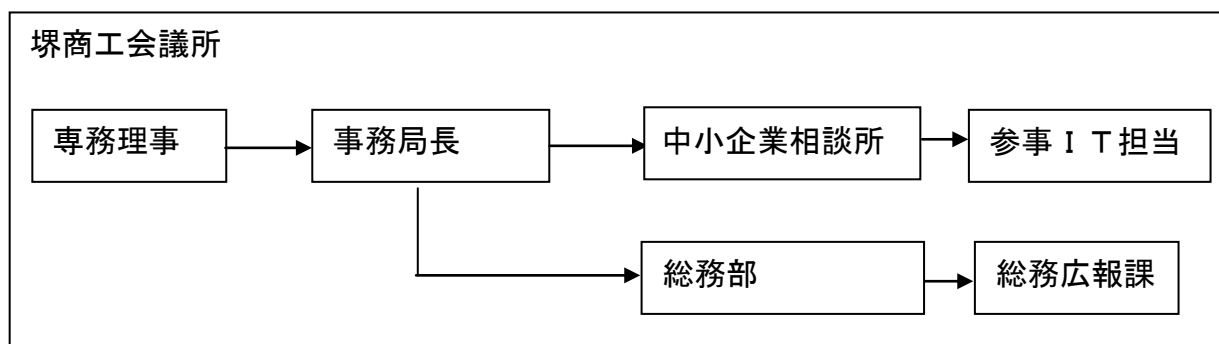
大学院工学研究科 教授

マテリアル工学・生体材料

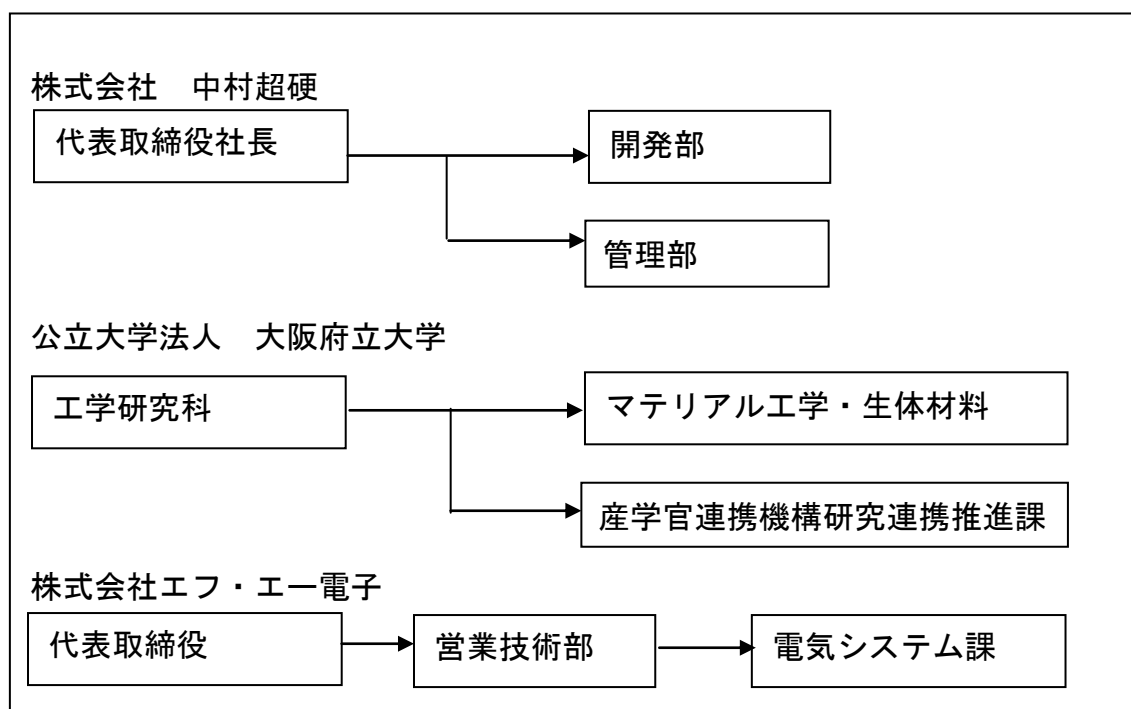
中 平 敦

2) 管理体制

①事業管理者



②（再委託先）



1-2-2 管理員及び研究員

【事業管理者】堺商工会議所

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
宮野 知行	参事 I T 担当 一般	⑮
植田 歩美	総務部総務広報課 一般	⑮

【再委託先】

②研究員

1) 株式会社 中村超硬

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
◎井上 誠	代表取締役社長	プロジェクトリーダー ①～⑬全般の管理
村田 安規	開発部技術アドバイザー	①～⑫技術分野の 全般管理含む
池山 泉	開発部 一般	①②③④⑤⑦⑧⑪⑫⑬⑭
富吉 努	開発部 一般	③、⑨、⑩、⑪、⑫、⑬
安倍 研作	開発部 一般	②、⑩、⑪、⑫、⑬、⑭
福元 聖士	開発部 一般	③、⑩、⑪、⑫、⑬
霜野 一裕	開発部 一般	②③④⑤⑥⑨⑩⑪⑫⑬⑭
辻 栄治	開発部技術アドバイザー	③、⑧、⑨、⑩、⑫

2) 公立大学法人 大阪府立大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
○中平 敦	工学研究科教授	サブプロジェクトリーダー ①～⑫全般の管理
間瀬 博	工学研究科教授	①～⑭についてセンター 内業務調整
金野 泰幸	工学研究科助教	①、②、③、④、⑥、⑧、⑨、⑩、⑫
千星 聡	工学研究科助教	①、②、③、④、⑥、⑧、⑨、⑩、⑫

3) 株式会社 エフ・エー電子

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
竹本 康介	代表取締役	⑥、⑪、⑫
松井 邦幸	取締役営業技術部部長	⑥、⑪、⑫
松永 健	営業技術部 電気システム課主任	⑥、⑪、⑫

1-2-3 アドバイザー

機関名又は氏名	所在地又は住所	会社名 代表者役職・氏名 電話番号
熊田 浩	〒639-2198 奈良県葛城市薑 282-1	シャープ株式会社 ソーラーシステム事業本部 材料事業推進センター 事業推進部 副参事 Tel :0745-63-3195
藤原 智晴	〒323-0807 栃木県小山市城東 4-5-1	トーマイダイヤ株式会社 取締役副社長 小山工場長 Tel:0285-22-5821
松本 広之	〒594-1157 大阪府和泉市あゆみ野 2-5-2	朝日インテック株式会社 デバイス事業部 大阪営業所 所長 Tel:0725-53-5281
神田 耕吉	〒532-0036 大阪府大阪市淀川区三津屋 中 2-15-21	株式会社カサタニ 技術部 部長 Tel:06-6308-0033
榎本 俊之	〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1	大阪大学 大学院 工学研究科 機械工学専攻 准教授 Tel:06-6879-7340

1-3 成果概要

1-3-1 研究期間 契約日～平成 21 年 3 月 31 日

1-3-3 開発テーマ毎の成果概要

1-3-2 実施計画 日程	実施内容	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
【1】	ロー付け法によるダイヤモンド固定ワイヤーソーの製造方法の開発												
【1-1】	素材の最適化研究												
①【1-1-1】	ワイヤー素材、ダイヤモンド素材、ロー材など構成材料の検討												
②【1-1-2】	低温ロー材の開発												
③【1-1-3】	ダイヤモンド固定状態の基本性能評価												
④【1-1-4】	細線化の可能性の追求												
⑤【1-1-5】	競合商品の切削能力の定量的評価												
⑥【1-1-6】	遊離砥粒マシンのダイヤモンド固定ワイヤーソーへの改造方法の研究												
【1-2】	短尺ダイヤモンド固定ワイヤーソーの試作												
⑦【1-2-1】	短尺ワイヤーソー製造装置の製作	完	了										
⑧【1-2-2】	製造実験装置による短尺ワイヤーソーの試作												
【1-3】	長尺ダイヤモンド固定ワイヤーソーの製造法の確立と製造装置の製作												
⑨【1-3-1】	連続でワイヤー表面を活性化する方法の開発												
⑩【1-3-2】	ダイヤモンド付着装置の開発												
⑪【1-3-3】	長尺ワイヤーソー製造装置の製作												
⑫【1-3-4】	長尺ワイヤーソーの試作と評価												
⑬【2-1】	データベースの構築												
⑭【2-2】	サンプル出荷	未											
⑮	プロジェクトの運営・管理												

①【1-1-1】ワイヤー素材、ダイヤモンド素材、ロー材など構成材料の研究

ダイヤモンド固定ワイヤーソーを形成する素材（ワイヤー、ダイヤモンド、ロー材）に関して、さらに高度化した材料を選択、開発した。

②【1-1-2】低温ロー材の開発

低温ロー材として F-1 をメインに、H タイプ（高硬度ロー材）ワイヤーソーの試作を続けてきたが、F-1 ロー材は、600℃以下の低温で溶融するが脆いため、ワイヤーソーとしての耐久性に問題があることが判明した。さらに高強度化するため、新規に組成を変えた U シリーズを立ち上げた。U シリーズロー材を使うと、ワイヤーソーとして F-1 より過酷な切断条件下で使用に耐えた。

切断物によっては、H タイプよりさらにソフトなロー材のほうが良い結果が出る事が判り、S タイプワイヤーソーを開発した。市販品で、極低温度で強度のあるロー材がないため、新たに市販品の 2 倍の強度を持つ TB7 ロー材を完成させた。

③【1-1-3】ダイヤモンド固定状態の基本性能評価

ワイヤーソーとしてのダイヤモンドの固定状態の観察は、従来 SEM（電子顕微鏡）で観察してきたが、新たに簡易式切断試験機を自作した。簡易式切断試験機は極短い 100mm 長で、ワイヤーソーとしての凡その性能が試す事ができる特徴がある。

簡易式切断試験機を多用して、各種ワイヤーソーを試作し、S タイプワイヤーソーが

予想に反して、最良の結果が得られた。タカトリ製マシン、新規に購入した TOYO マシンでも、各種長尺ワイヤーソーを試作し、切断テストをして、ダイヤモンドの固定状態の基本性能を評価した。

④【1-1-4】細線化の可能性の追求

細線化の可能性の追求では、目標であった $\Phi 0.1\text{mm}$ は達成できなかった。この原因は、ワイヤーソーの製造に係わることであり、むしろ、マシンのコントロールに起因している。弱い細線ワイヤーソーを高速で走行させ短時間で、正逆転させる制御に問題がありそうで、ワイヤーソーが断線するリスクが激増する。マシンの制御を含め、徐々に細線化に向けてステップアップする。ワイヤー素線径は、開発当初は $\Phi 0.2\text{mm}$ であったが、最近では $\Phi 0.12\text{mm}$ を標準品として試作して評価している。

⑤【1-1-5】競合商品の切削能力の定量評価

他社製ワイヤーソーは、購入、入手ができなかったため評価できなかった。このため、ビーカーテスト的に電着ワイヤーソーを試作し、簡易式切断試験機を製作し評価した。結果、寿命、切れ味ともに開発ワイヤーソーは電着ワイヤーソーより良好であり、仕様の変更に敏感に反応し、簡易式切断試験機は開発の加速に効果があった。

⑥【1-1-6】遊離砥粒式ワイヤーソーマシンのダイヤモンド固定ワイヤーソー方式への改造方法の研究

市販されている国内大手のトーヨーエイトック、コマツ NTC、タカトリ製マシンを購入し、ダイヤモンド固定ワイヤーソーが装着できるか、実験を進めた。ワイヤーソーはダイヤモンドを固着することによって寿命が非常に延びるが、ワイヤーソーに捻じれが蓄積し、ダイヤモンドの寿命の前にワイヤーソーが捻じれによって断線する。このため、マシンによるワイヤーソーへの捻じれの蓄積を調査した。また、細線化によって、マシンの制御を相当精密に対応できなければ、断線のリスクが増える事が判った。

⑦【1-2-1】短尺ワイヤーソー製造装置の製作

短尺ワイヤーソー製造装置の製作は、立ち上げ、改善を含め完了した。

⑧【1-2-2】短尺ワイヤーソーの試作と評価

短尺ワイヤーソーの製造装置を使い、タカトリ製マシン対応の試作品の製造に充分に稼動した。基礎実験も本装置を使い、研究した。

⑨【1-3-1】連続でワイヤー表面を活性化する方法の開発

SUS ワイヤーの表面を活性化する方法として、SUS ワイヤーに Ni、Ni+Cu メッキされた市販ワイヤーを購入し、 H_2 の還元雰囲気中で活性化してロー材の濡れを向上する方法を採用し、基本的な製造方法を確立した。

Ni、Cu のメッキされた SUS 素線は、今後大量に消費された場合、現在では製造能力が低く安定供給が困難であることが判ってきた。この対策として、独自に 2 社の線材メーカーの協力を得て、自前で高強度 SUS・Cu メッキワイヤーの開発に着手し、ピアノ線に迫る $3000\text{N}/\text{mm}^2$ の線材を製造する技術を開発した。

⑩【1-3-2】ダイヤモンド付着装置の開発

ダイヤモンドを線材に連続的に、高速で、かつ付着量をコントロールして付着させ

る方法として、インクジェットを思い付き、インクジェット装置メーカー 2 社で研究した。インクジェットのインク容量が予想よりも大きく、1 滴が最小で 50 μ m ほどあった。条件を種々変えて板材に仮付け塗料のセメント材を噴射し、実験を繰り返したが、当初の見込みの出来栄に程遠かった。

続いて新規に静電スプレー法という手法を見つけ、テストをメーカーの装置を借用して実験した。これも所期の思惑より出来栄が悪く、インクジェット法とともに、アイデア的には妥当性があるものの、現状の市販装置だけでは、ワイヤーに適応させるには、相当の改善が必要なことから、装置メーカーの新機種の動向を睨んで、一次中断することにした。なお、インクジェット法、静電スプレー法は特許出願した。

昨年度末より着手し、開発を続けてきたプリコート法は、試行錯誤の繰り返しのルツボ法との組み合わせで、ロー付け法によるダイヤモンド固定ワイヤーソーの製造の基幹技術として完成させた。

⑪【1-3-3】長尺ワイヤーソー製造装置の製作

昨年度末導入した長尺ワイヤーソーの製造装置は、立ち上げ、ワイヤーソー・マネジメントの改良を加え、長尺ワイヤーソー製造に適応できるようにした。

⑫【1-3-4】長尺ワイヤーソーの試作と評価

開発ワイヤーソーの評価については、長尺ワイヤーソー製造装置を使って、2000m 以上のワイヤーソーを数多く試作し、年度前半はタカトリ製マシンにて、年度後半は新規に購入したトーヨーエイテック製マシン、コマツ NTC 製マシンにより、多結晶シリコン、青板ガラスを中心に切断テストを行った。

⑬【2-1】データ・ベースの構築

各種マシンを使って多結晶シリコン、単結晶シリコン、単結晶サファイア等のスライスを行った。また切断状況をリアルタイムに確認するためスイス・キスラー製の 3 分力動力計を購入し、切断分力のデータ収集を行った。

⑭【2-2】サンプル出荷

現時点ではデータ蓄積が十分ではないと考え、サンプル出荷は平成 21 年 7 月以降とすることとした。業界で使われているワイヤーソーマシンを使用して、開発ワイヤーソーでスライスしたウェハーの評価を客先でしてもらい、ワイヤーソーのサンプル出荷に替えた。

⑮プロジェクトの運営・管理

【堺商工会議所】が担当する。

平成 20 年度は、上記①～⑭記載の平成 20 年度実施分の運営・管理を行い、メンバーが協力し合い円滑に運営できた。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

連絡窓口：堺商工会議所 宮野 知行 参事 IT 担当

〒591-8502 大阪府堺市北区長曾根町 130 番地 23 号

TEL : 072-258-5581 FAX : 072-258-5580

E-mail: sakaicci@sakaicci.or.jp

第2章 本論

本研究の今年度成果に付き、各再委託先での取り組みを以下に詳しく報告する。

2-1 大阪府立大学

②低温ロー材の開発【1-1-2】

18年度、600℃以下で熔融するCu-Ag-Sn系低温ロー材F-1を、ダイヤモンドを固着する標準ロー材として開発し、ロー付け法によるダイヤモンド固定ワイヤーソーの開発に供してきた。その後、短尺、長尺ワイヤーソーを数多く製作し、ワイヤーソーの製法を開発し、改良してきた。実用的なワイヤーソーマシンで、各種材料の切断テストを続ける中で、F-1ロー材は脆いという欠陥が明らかになってきた。この対策を今年度は重点的に改善し、新たにUシリーズのロー材を完成した。

改善はCu-Ag-Sn系ロー材の各成分の組成を変化させるとともに、第4、第5元素の添加を図り、600℃近傍のロー付け温度、NiまたはCuコーティングワイヤー及びNi、Cuコーティングダイヤモンド砥粒への良好な濡れ性、接着力、靱性の改良に努めた。

Cu-Ag-Snの3元系液相線図から液相温度を推察し、600℃以下の合金成分となる4種類を選択して、U-1～4と名づけて、サンプルを作成した。それぞれを熱分析し、固相線(℃)、液相線(℃)を測定し、合金の組織写真をとった。続いて、合金の硬度を測定し予想より硬く、いずれもHv292～351が得られた。つづいて圧縮試験法による0.2%耐力、歪み率、破断応力を測定した。以上の測定値を吟味し、最もバランスが良い、F-1よりAgを2.5%減じ、Cuを30%増量し、Snを10%減じたU-3を採用した。

このU-1～4をさらに靱性アップするため、微量のNiの添加をおこなった。

Niの濃度を0.1～3%まで5水準で振って、Niの添加効果を確認した。

Ni添加による機械的性質の変化は、硬度、圧縮試験法による応力歪み曲線、0.2%耐力、破断応力などを測定し、U-3にNi 1%添加が最もバランスの取れたロー材である事が判明した。

U-3、1%Niを今後通称U-3として、ロー付け法によるダイヤモンド固定ワイヤーソーの標準ロー材とすることに決まった。このロー材をHタイプロー材とし、このロー材を使ったワイヤーソーを、当面Hタイプワイヤーソーと称する。

当然ながら、ロー材に関しては不断に改良を進める。

○ ㈱中村超硬での切断テストの結果、ロー材の強度が強ければ良いというのではなく、切断される材質によって軟質のロー材の方が良いという指摘があった。

サファイアなどの切断では、材質が硬く粘いために、ダイヤモンドがワイヤーソー表面に何時までも残存すると、切れ味がどんどん悪くなり、切断精度が劣化したり、最悪ワイヤーソーの断線に繋がる。この問題の解決には、ダイヤモンドの保持力を弱めて、脱落しやすい砥粒保持法を新たに開発する必要があることを要請された。

保持力はロー材の強さ(硬さ)にほぼ比例する。入手し易い市販の極低温軟ロー材は、Sn-Ag系が主流で、購入し特性を吟味したところ引っ張り強さが40N/mm²以下と弱く、適応できる範囲が限定されるため、新規に強度を目標を2倍に設定し、開発に着手した。

文献や商品カタログを調査し、引っ張り強さの向上にBi が有効である事が判った。高価な In などの添加は今後の安定入手の不安があるため、無視した。

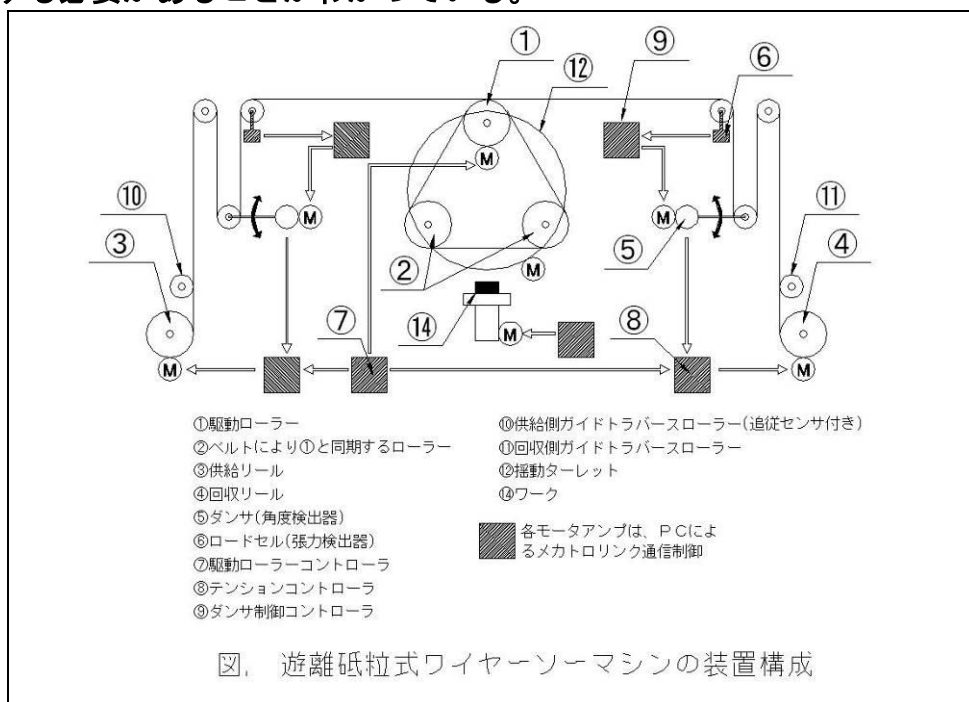
ごく一般的な Ag3.5%残 Sn のロー材をベースに、Bi を 3~11%5 水準のサンプルを作成し、引っ張り強さを測定したところ、Bi%が最大の引っ張り強さを示し、目標の市販品の 3 倍の高強度化が達成できた。

以降、このタイプのロー材を、S タイプロー材と称し、この種のロー材を使用したワイヤーソーを S タイプワイヤーソーを称する。Bi7%添加ロー材を、TB7 を命名した。

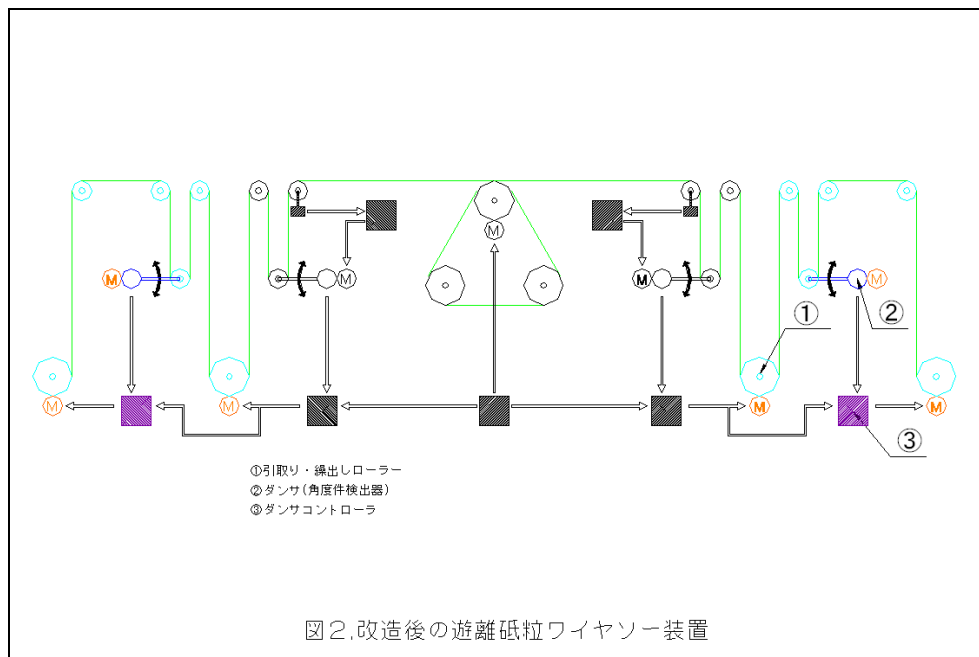
2-2 株式会社 エフ・エー電子

⑥【1-1-6】遊離砥粒式ワイヤーソーマシンのダイヤモンド固定ワイヤーソーへの改造方法の研究

前年度の研究実施により現行の遊離砥粒式ワイヤーソーマシンにおいては下図の通り、各モータに対する制御をPCのオリジナルソフトによるメカトロリンク通信制御方式により行なっている事がわかっており、各制御指令を外部指令として使用することは難しいため、本研究開発の改造においては巻き出し巻き取りについては既存装置とは独立したシステムを採用する必要があることがわかっている。



これに対し、断線の可能性を低減させ且つ、遊離砥粒式ワイヤーソーマシン本体への改造を不要とする外付け巻き出し巻取り装置の実現を目的として初年度に考案している下図2のシステムを現実のものとするのが目的となる。



そこで、既存機への改造を行なうことなく、従来の巻き出し軸を外付け装置の基準速として、従来の巻き出し軸による引き取り速度に同期してワイヤーの巻き出しを行なう事ができる外付け巻き出し装置の製作を行なった。製作した装置の制御システム図を図3、製作した装置を写真1に示す。

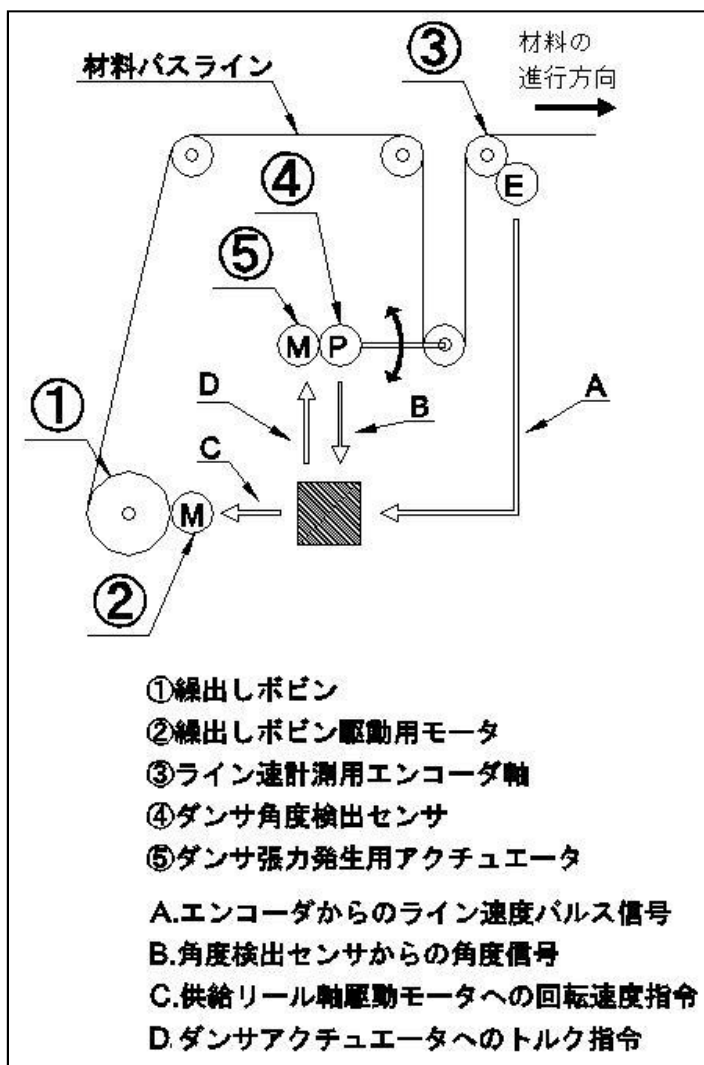


写真1：外付け繰り出し装置
図3：外付け繰り出し装置制御構成

本装置では、最終ガイドローラにエンコーダによる引き取り速度検出の機能を持たせることにより、既存の遊離砥粒式ワイヤーソーマシンから基準速信号を取り出す必要が無く、完全にスタンドアロンで動作できる制御構成となっている。また、既存の遊離砥粒式ワイヤーソーマシンの巻き出し軸をノンスリップの引き取り軸として使用するため、巻き出し張力と切断張力を分離することができる。固定砥粒式ワイヤーソーのワイヤーそのものが刃物であることに起因する断線を防ぐために巻き出し張力を低く設定し且つ、巻き出し張力とは無関係に切断張力を設定できるため、断線を抑制できる。また、既存の遊離砥粒式ワイヤーソーマシンの巻き出し軸をノンスリップの引き取り軸として使用し、供給ボビンからの

巻き出しは本装置から行なう事から、固定砥粒ワイヤーの供給ボビンの巻き姿については自由な巻き姿を選択する事ができるようになったため、既存の遊離砥ワイヤーソーマシンへの改造を行なう事なく設置が可能な装置となった。

以上から、既存の遊離砥粒式ワイヤーソーマシンに対して固定砥粒ワイヤーソーの使用を実現する材料搬送制御については改造対応の確立が行なえたと考えており、当初の目的はほぼ達成できたと考えている。今後行なう試験としては、供給ボビンの巻き姿を自由に選択できることから、断線の少ない最適な巻き姿の追求を引き続き行なっていく予定である。

⑫【1-3-4】長尺ワイヤーソーの試作と評価

長尺ワイヤーソーの試作にあたり現有のワイヤーソーマシンに取り付け可能なボビンへの巻き替えを行なうための巻き替え装置及び、ワイヤー表面の清浄化を目的とした連続洗浄装置の設計開発を行なった。

a. 巻き替え装置

本装置は、試作された長尺ワイヤーソーの評価を行なうため、ワイヤーソーマシンに取り付けることができるボビンに巻き替えるための巻き替え装置である。システム構成図及び装置写真を以下に示す。

図4：巻き替え装置制御構成図

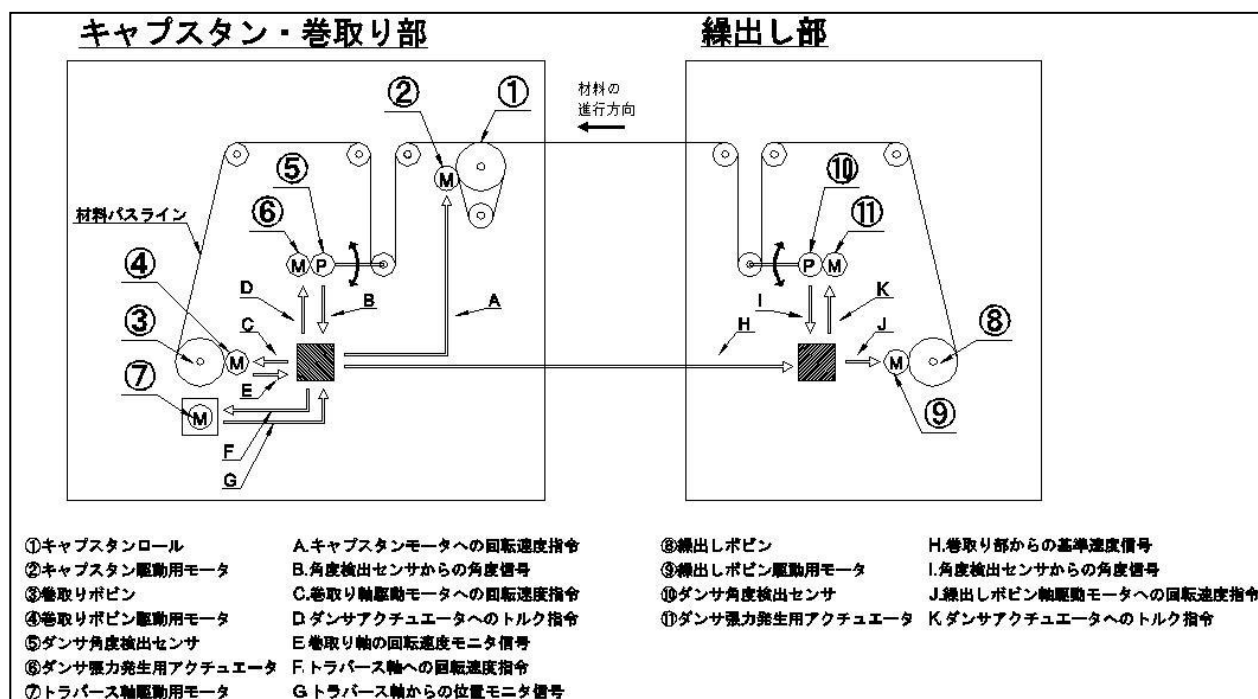


写真2：巻き替え装置巻取り部

写真3：巻き替え装置繰出し部

ツインダンサ制御を行なうことにより、巻き出し張力と巻取り張力を分離することができ、テーパテンション機能によりワイヤーの巻量に応じて、巻取りダンサにより付与される張力を変化させ、ダイヤモンドの付着したワイヤーの性能を損なうことなく巻取りを行なうことができる。長尺のワイヤーをボビン等に巻付けていく際に、一定の張力で巻付けを行なうと、巻付け層数の増加に伴い、巻芯に応力が掛かり、巻締まっていく。この巻締りが起こることで、ワイヤーの変形や食い込みや、ダイヤモンド砥粒の剥落が発生するが、テーパテンション制御を行なうことにより、すなわち、巻き始めは、強い張力で巻き、層数の増加に伴い、徐々に張力を弱くしていくことにより、巻き層内部の張力増加を

抑制することができる構成としている。また、台形トラバース巻きも可能なため、実際にワイヤーソーマシンに掛けた際のほどけ性を向上させることができる。

以上、本装置により既存のワイヤーソーマシンにおいて切断テストを行なうことができるようになった。

b. ワイヤー連続洗浄装置

本装置は長尺ワイヤーソーの試作にあたり、前処理としてワイヤーの表面清浄化を行なうためのワイヤー連続洗浄装置である。システム構成図及び装置写真を以下に示す。開発当初は洗浄槽は2槽使用の予定であったが、ワイヤーを多数のパスラインを通過させることは好ましくなく、実使用上は1槽で期待する洗浄効果が得られたため、1槽で使用している。また、本写真において洗浄槽は機密情報に当たるため、写真には掲載していない。

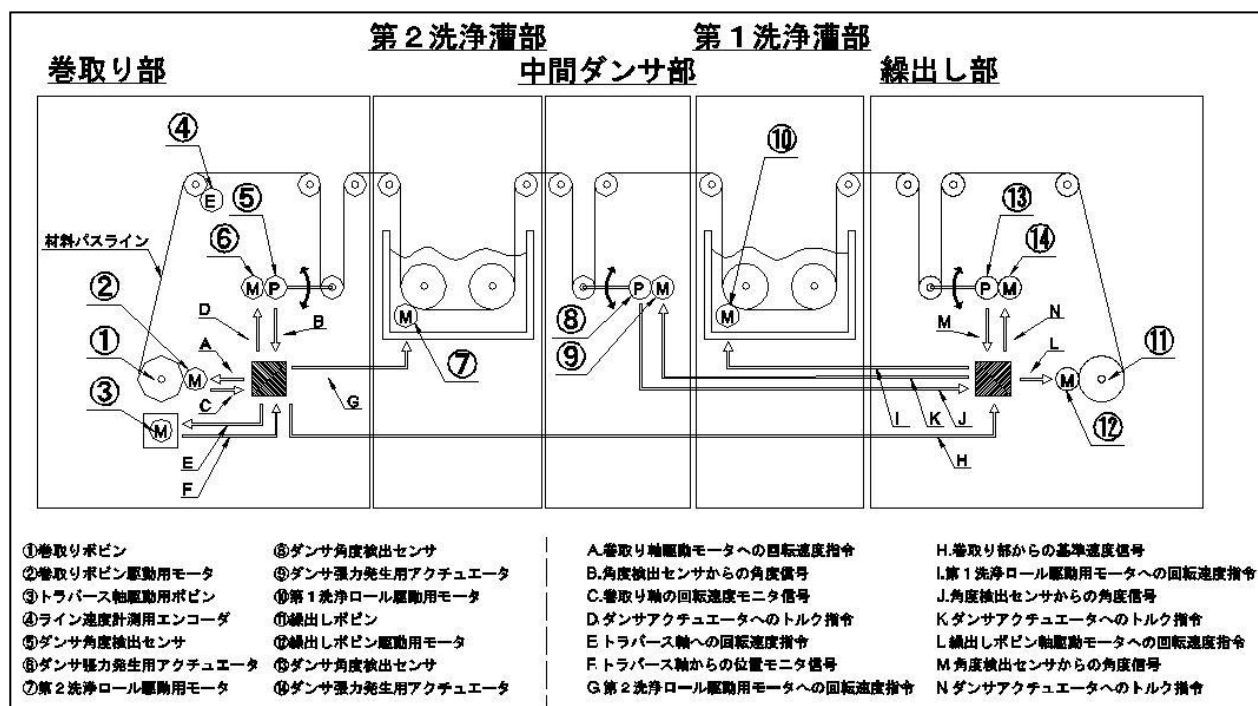


図5：ワイヤー連続洗浄装置制御構成図

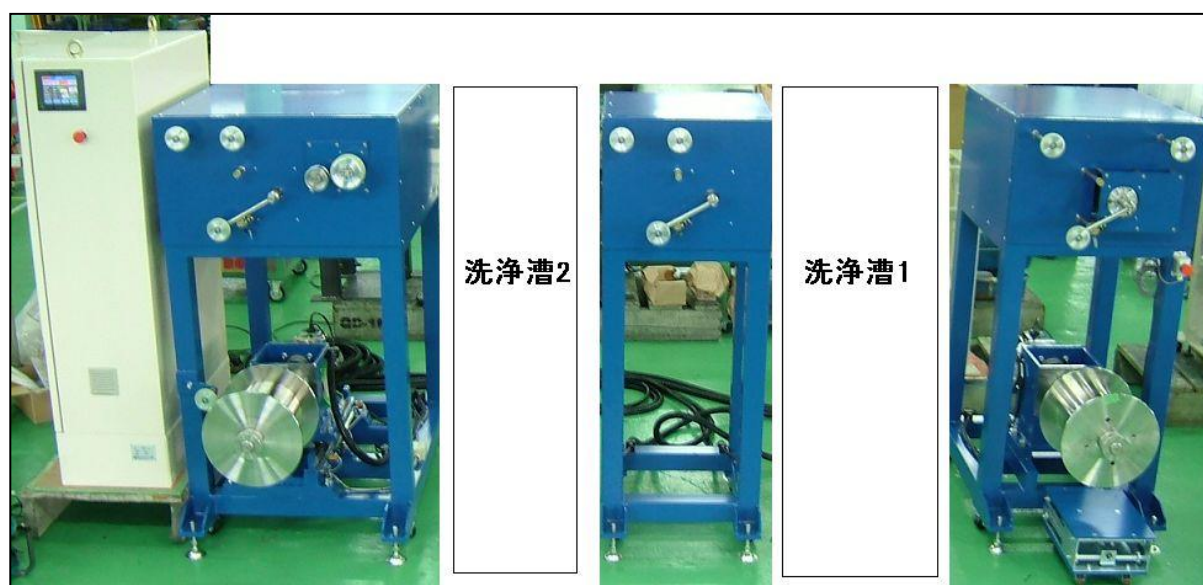


写真4：ワイヤー連続洗浄装置

装置はトリプルダンサ制御方式としており、それぞれのダンサ間に洗浄槽が設置される。これにより、洗浄槽内の張力を個別に設定すると共に、同期運転を行なうことができるため、巻取り速度に同期して洗浄槽内の駆動軸をそれぞれ同期駆動することができる構成となっている。

2-3 株式会社 中村超硬

【1-1】素材の最適化の研究

関連するサブテーマ【1-1-1】【1-1-2】【1-1-3】【1-1-4】【1-1-5】【1-3-2】

①ワイヤー素材、ダイヤモンド素材、ロー材など構成素材の検討【1-1-1】

・ダイヤモンド

ダイヤモンドに多層コーティングして、ロー材との濡れを向上させ、ダイヤモンド低温ロー材でワイヤーに固着させる手法が、本研究開発の根幹である。昨年度にダイヤモンドをコーティングする膜を、TiC-Ni-P（場合によりさらに Cu コーティング）とし、その膜厚みを指定した。TiC-Ni-P 膜間の密着力を向上させる目的で 850℃の熱処理をする方法を確立した。

・ワイヤー素材 関連するサブテーマ【1-3-1】【1-1-1】【1-1-4】

ワイヤーソーの素線は、既述のように SUS 素線、または Ni コーティング線が基本である。昨年度の報告とおり、市販で SUS 線に Ni、Ni+Cu メッキ品が購入できるが量の安定供給が受けられないことと、SUS の強度アップ品の入手が不可能なため、・自前で調達できる方法を模索し、地場の線材メーカー 2 社と協力して、高強度 SUS に Cu メッキした線材が入手できる目処を付けた。

しかしながら、現在の生産能力は少なく、量産ベースでは相当規模の設備投資をする必要がある問題を抱えている。一方 SUS の高強度ワイヤーは、安定して入手できる見込みをつけた。SUS にダイレクトにプラズマで活性化し、ルツボ法で連続的にコーティングする方法は、昨年度の実験結果で報告済のように、問題点の解決に相当の困難が伴い、成功の可能性も定かでないため断念した。

②低温ロー材の開発【1-1-2】

昨年度、府大で開発した F-1 を低温ロー材として採用し、これを基材でワイヤーソーを試作し評価してきた。F-1 は、所期の目標である 600℃以下の低温度でコーティングダイヤモンドをよく濡らすが、切断テストの結果、ワイヤーソーとしては、やや脆く、過酷な切断条件下では、ダイヤモンドの固着力が弱く、加工条件の選択の幅が小さい事が判った。この対策として、F-1 の高力化を府立大学に要請し、(株)中村超硬と共同で新しい低温ロー材の開発に取り組んだ。F-1 をベースに、靱性を高める目的で Ni を添加した U シリーズを開発した。

U シリーズを使いワイヤーソーを試作してタカトリ製マシンで、評価したところ、F-1 に比べて、ダイヤモンドの保持力は強化され、シリコン等の加工に充分適応できる事が判った。

一方、サファイヤ等の難削材の切断では、ダイヤモンドの保持力を弱めて、ダイヤモンドの脱落を促し、切れ味の持続を目指した新しいロー材の開発が必要になった。サファイヤの切断では、ダイヤモンド保持力の最弱なレジンボンドが使われている。レジンボンドより強い、しかも U-3、F-1 の低温ロー材よりも弱い新規なロー

材の開発に府大と共同して開発した。

すなわち、切断物、切断条件に合わせた、最適化したワイヤーソーを作りこむ必要性が重要である事が明らかになった。

サファイアなどの難削材の切断では、ダイヤモンドのエッジの磨耗が早く、切れ味の落ちたダイヤモンド砥粒を、ワイヤーソー表面から自然に脱落させ、新しい切れ味の良い砥粒を、自生発刃させることが重要なポイントとなる。

この目的に適うだろうと思われる、接着力の弱い、最も入手し易いロー材は、Sn-Ag 系のロー材がある。しかし、このロー材は、引っ張り強さが $4\sim 5\text{kg/mm}^2$ と弱い。200mm 長さのサンプルワイヤーソーを、手作りで製作し、簡易式切断試験機（後述の⑤で本機の説明参照）で実験したところ、ダイヤモンドの保持力が弱く、ワイヤーソー表面からダイヤモンドが早期に脱落する事が判った。ダイヤモンドの密度を上げて、ダイヤモンド同士接近させて、その間を Sn-Ag ロー材で埋めると、ダイヤモンドの保持力が急激にアップし、難削材の切断加工にも適応できる事もわかった。

Sn-Ag ロー材は市販品で入手が容易であるが、強度の選択が出来ない。そのため、ワイヤーソーとしての能力を向上させるため、府大と共同で新たな極低温ロー材の開発に着手した。ベースとして添加物を微量入れ、特性を調査した。

この新規開発のロー材を TB7 と命名した。

結果、ロー材の種類によって、ダイヤモンド固定ワイヤーソーの特性が様々な調整でき、かつワイヤーソーの仕様を用途に応じて最適化すると、切断能力の向上に大きく寄与することがわかった。

今後、低温ロー材 F-1、U-3 を使ったワイヤーソーを、H タイプワイヤーソーとし、極低温ロー材 TB7 を使ったワイヤーソーを、S タイプワイヤーソーと命名し、この表現で開発ワイヤーソーの大分類をする。

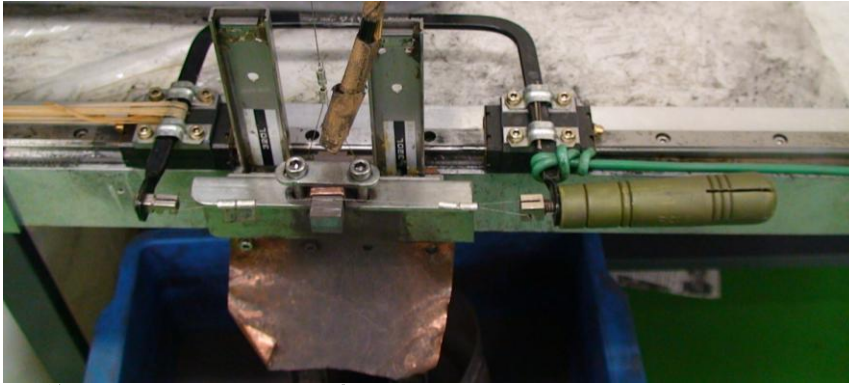
当然ながら、それぞれの仕様は、ダイヤモンド粒径、密度、補強方法などでさらに細分化される。

③【1-1-3】ダイヤモンド固定状態の基本性能評価

基本的に、試作したワイヤーソーは、SEM(電子顕微鏡)観察し埋め込み状態を評価するが、切断時のダイヤモンドの脱落や保持力は、判らない。この問題を補完するために、簡便な切断試験機を製作し簡易式切断試験機と命名した。

簡易式切断試験機は、ジグソーにワイヤーソーを連結し、往復運動させて被削材を押し付け、切断速度（切れ味）、切断面積からワイヤーソーの寿命を算出する。ごく短いワイヤーソーでも実験が出来るため非常に簡便ではあるが、細いワイヤーソーに加重するから、ワイヤーソーの負荷が大きく、ある意味でワイヤーソーの加速テストのような趣がある。すなわち、簡易式切断試験機に耐えたワイヤーソーは、十分なタフネスを備えており、ダイヤモンドの固定状態が万全であると判断できる。

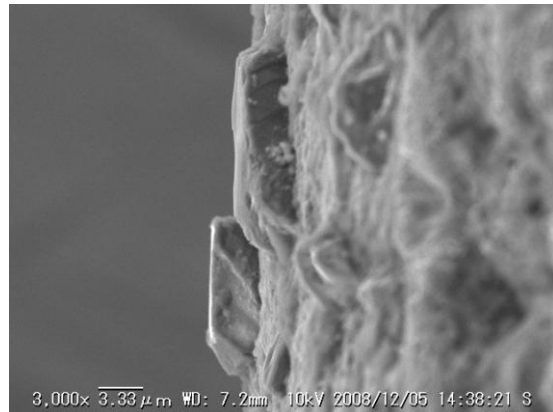
簡易式切断試験機の写真



電着ワイヤーソーの写真



EH タイプワイヤーソー



ガラス加工により磨耗したダイヤモンド

④細線化の可能性の追求 【1-1-4】

開発の初期の段階で、ワイヤーソーの素線径は $\phi 0.2\text{mm}$ であった。その後昨年度は $\phi 0.16\text{mm}$ と細線化し、今年度は $\phi 0.14\sim 0.12\text{mm}$ まで細線化に成功した。とくにシリコンようとしては、 $\phi 0.12\text{mm}$ を標準品として、試作、生産している。目標である線径 $\phi 0.10$ のワイヤーソーを製造する問題点は多くない。しかし、使用にあたってワイヤーソーマシンが、か細いワイヤーソーを自在に制御できるかどうか、最大のネックとなりそうである。

⑤ 競合商品の切削能力の定量的評価 【1-1-5】

19年度の成果報告書に示したように、開発ワイヤーソーと競合する他社の電着、レジンの固定砥粒ワイヤーソーは、入手できなかった。

最も先行している電着ワイヤーソーとロー付け法によるダイヤモンド固定ワイヤーソーの評価試験をする必要があるため、急遽、電着ワイヤーソーを内製で製作する必要がでてきた。ごく小規模の電着ワイヤーソー製造設備を作り、簡易式切断試験機で評価できるレベルの電着ワイヤーソーを試作した。

電着ワイヤーソーで青板ガラスの切断

簡易切断機試験機を使って、青板ガラスの切断テストをした。切断が進まず、7時間長時間使用した結果ダイヤモンドの先端が摩滅し、切れ味不能になって終了した。電着工具のダイヤモンド保持力は、非常に強く、ダイヤモンドが脱落しない。したがって写真のようにワークと接触しているダイヤモンドの切れ味が減じても、脱落することなく、いつまでも残存するため、切れなくなる。

被切断物の種類によって、ダイヤモンドの保持力を調整しなければならないこと

が、証明された。

⑥遊離砥粒式ワイヤーソーマシンのダイヤモンド固定ワイヤーソーへの改造法の研究
【1-1-6】

現在のワイヤーソーマシンは、全てが遊離砥粒式ワイヤーソーマシンとして設計されている。遊離砥粒式ワイヤーソーマシンでは、ワイヤーを長く使えば磨耗し断線するため、場合によっては、往復運動させずに一方走行、ワンウェーの使い捨てで使用される。ダイヤモンド固定ワイヤーソーでは、ワイヤー表面に長寿命を誇るダイヤモンドが固着されているため、ワイヤー自体の磨耗は極めて少なく、また高価なため、何度も繰り返して長時間使う必要がある。

タカトリ製マシンなどを使って、継続的な、長期間にわたる実験結果として、加工コストの比重の高いワイヤーソーコストを下げるために、繰り返して使うとワイヤーソーに捻じれが累積し、砥粒の能力が残存していても、ワイヤーソーが捻じれによって破断する事が確認された。この問題は極めて重要で、ワイヤーソーに発生する捻じれの原因の追究を行っている。

タカトリ製マシン以外に、新規に TOYO エーテック製最新固定砥粒対応 1 号機 コマツ NTC マシンを設置し、遊離砥粒式ワイヤーソーマシンにダイヤモンド固定ワイヤーソーを装着して稼動した時の問題点抽出した。

ワイヤーソーの捻じれの蓄積は、マシンの種類によって変わる事が判明した。ワイヤーソーの捻じれの蓄積による断線にいたる時間は、少なくとも 1 スライスが完了するまでは断線しない事が必要である。

これを検証するため、マシンにワイヤー素線を巻きつけ、種々の条件で断線に到るまでの時間を計測した。この実験の過程で、ダイヤモンド固定ワイヤーソーでは、ウェハー面に出来るソーマークを減じるため、B & F (バック・&・フォース) と称して 1 分間に 1 ~ 5 の往復の走行切り替えが行われる。遊離砥粒式ワイヤーソーマシンでは、既述したようにワンウェー走行か B & F の回数が少ない。ダイヤモンド固定ワイヤーソーを使用して、頻繁な B & F をおこなうと、独立した多軸メインローラの制御不良によって、ワイヤーソーが早期断線する機種もあった。制御の応答性を微調整することによって、断線までの寿命が飛躍的に延びつつある。概ね、1 スライスに必要な時間内で、ワイヤーソーが捻じれによって断線する事故は、いずれの機種でも対応可能になりつつある。

タカトリ製マシン



トーヨーエイテック製最新固定砥粒
対応 1 号機の写真



コマツ NTC マシンの写真



2) 【1-2】 短尺ダイヤモンド固定ワイヤーソーの試作
関連するサブテーマ ⑦【1-2-1】 ⑧【1-2-2】

短尺ワイヤーソー製造装置を、前年度に引き続き試作段階で使用している。

3) 【1-3】 長尺ダイヤモンド固定ワイヤーソーの製造方法の確立と製造装置の製作
関連するサブテーマ 【1-3-1】 【1-3-2】 【1-3-3】 【1-3-4】

19 年度末に導入した、長尺ワイヤーソー製造装置は、今年度、H タイプワイヤーソーの試作に使用した。

使用中に、ワイヤーソーがプーリーから外れる事故が頻発した。ワイヤーソーのマネージメントを調査したところ、外から見えない真空チャンパー内で、プーリーからプーリーの真直性が狂っている事が判明した。トライアンドエラーで改善し、安定して製造可能になった。

短尺ワイヤーソー製造装置とコンビで稼動し、2,000～3,000mの長尺は、長尺ワイヤーソー製造装置を使った。

⑨連続で表面を活性化する方法の確立【1-3-1】

- 1) の素材の最適化研究のワイヤー素材で既述した。プラズマ法に代わって、ワイヤーコーティング法で対応した。

ワイヤーの表面の活性化に関しては、既述のように SUS ワイヤーに、Ni、Ni+Cu メッキしたワイヤーを、還元雰囲気中でロー付けすることにした。

・ SUS の表面に Ni や Cu を電気メッキしてコーティングし、還元雰囲気中で活性化し易くする従来の方法に変わって、SUS 表面に Sn-Ag の極低温ロー材を、ルツボ法でフラックスを使ってコーティングし、続いてその表面に Ag-Sn-Cu 系のロー材をコーティングする手法の開発に着手した。Sn-Ag 系の極軟ロー材は、ルツボ法で安定してコーティングできたが、続いての Sn-Ag-Cu 系のコーティングが、フラックス法、 N_2-H_2 還元雰囲気中でも、濡れが悪く、コーティング出来なかった。

⑩ダイヤモンド付着装置の開発【1-3-2】

ワイヤーに予めロー材をルツボ法でコーティングし、つづいてこのワイヤーの表面を接着剤などで多層コーティングダイヤモンドを付着させてのち、600℃の炉中に導入して加熱し、ワイヤーに付着したロー材を溶かし、ダイヤモンドを連続的に効率よく固着する方法をプリコート法と名づけ、ロー付け法によるダイヤモンド固定ワイヤーソーの量産技術として確立した。

ワイヤーソーの性能を決める要因に、ダイヤモンドの付着密度が重要である。付着密度を自在にコントロールする技術開発に挑戦した。

・ インクジェットによる方法

ロー材をコーティングしたワイヤーに、インクジェットで接着剤を斑点状に吹き付け、続いてダイヤモンドを含む気流中に導入し、ダイヤモンドを仮付着させ、プリコート法と同じ方法で固着し、ダイヤモンド密度を自在にコントロールしたワイヤーソーの実現化に向けたトライをした。

数あるインクジェットのメーカーから 2 社の協力を取り付け、実験した。

しかしながら、現状のインクジェットの最小のスポットでも 50 μm ほどの大きさが

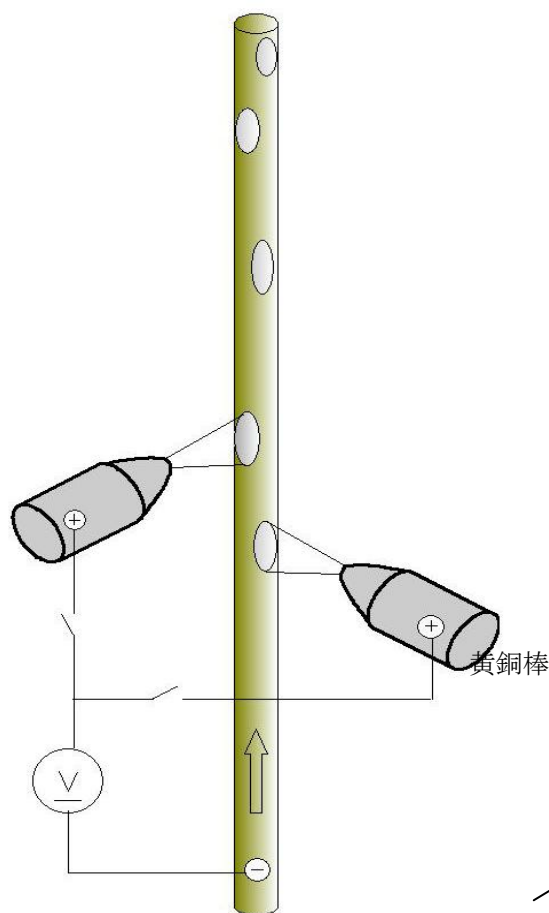
あり、接着剤の組み合わせの中で、多数のスポットを安定的に印字するのは、既存の装置では難しい。やはり専用の装置を開発する必要があり、早急に対応できないので一時中断した。

- ・ 次にパルス・静電スプレーを試みた。

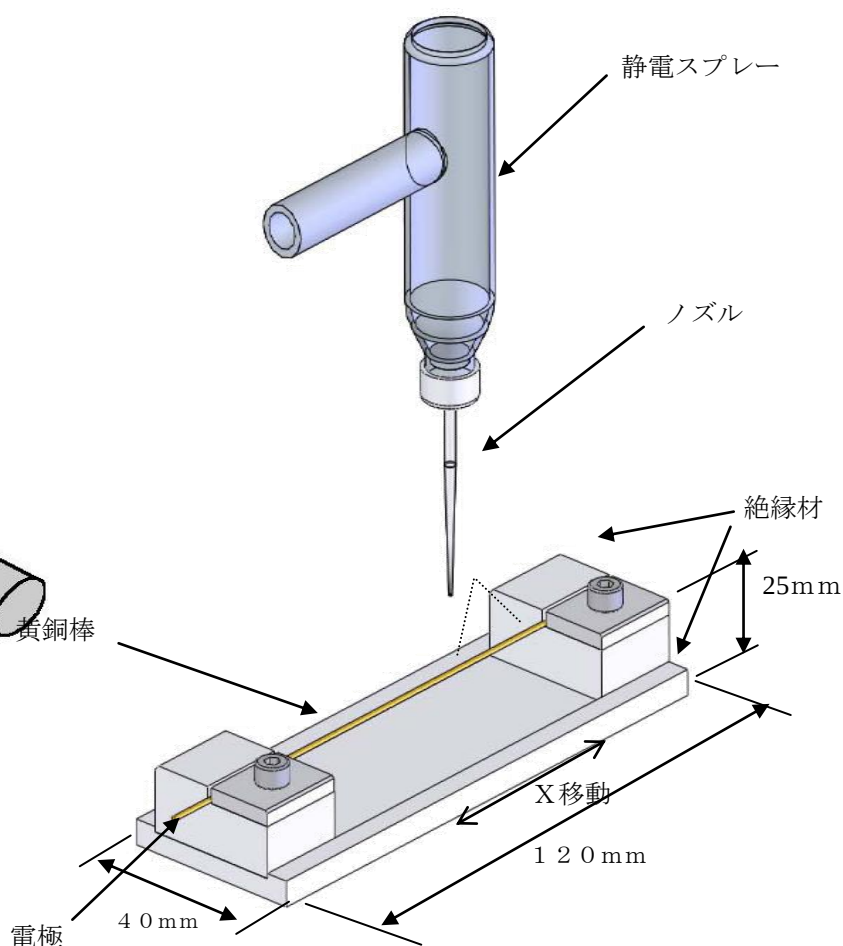
パルス静電スプレー法は、液中に微粒子を分散させ、液中にパルス高電圧を荷電すると、1パルスごとに1微粒子ずつ分配された状態で付着する。ダイヤモンドの $20\text{--}30\mu\text{m}$ を薄めた接着剤に分散させて、パルス静電スプレーしたところ、借用した実験装置では、ダイヤモンドがない状態では上手くスプレーできるが、ダイヤモンドを分散させるとノズルで引っ掛かる場合が出て、出来栄が満足できなかった。メーカーの技術者と今後の対策を打ち合わせたが、これも装置の大幅な改良が必要となり、今後のメーカーの対応を待つこととなった。

インクジェット法、パルス静電スプレー法によるダイヤモンドの付着密度のコントロール法は、原理的には可能性が高く、完成した場合絶大な効果を期待できることから、両法とも特許出願した。

インクジェット法



パルス静電スプレー法



⑪長尺ワイヤーソー製造装置の製作【1-3-3】

19年度末に導入された長尺ワイヤーソー製造装置は、順調に立ち上げが完了し、Hタイプワイヤーソーの長尺ワイヤーソー製造に使用している。

長期間使用する中で、ワイヤーソーがプーリから外れる事故が偶に発生した。ワイヤーソーの走行は、真空チャンバー中にあるため、発見しにくかったがプーリかんの真直性に問題がある事が判り、トライ＆エラーで修正し、今では順調に稼働している。装置としては完了した。

⑫長尺ワイヤーソーの試作と評価【1-3-4】

長尺ワイヤーソー製造装置を使って、Hタイプワイヤーソーを数多く試作した。年度前半は、F-1 ロー材で2,000m以上の長尺ワイヤーソーを試作し、主にタカトリ製マシンで切断テストを行った。

切断テストは、多結晶シリコン、青板ガラスを中心に、ダイヤモンド密度、粒度を変えて最良な切断条件を探した。F-1 ロー材では、青板ガラスはどうか切断可能であったが、サファイアを意識したセラミックの加工では、早期のダイヤモンド脱落を生じて、F-1 に適応できる切断物と切断条件は小さい欠点がある事が判明した。既述、府大報告書にあるF-1 ベースにNi 添加したUシリーズは、F-1 の5倍の塑性変形能力があり、F-1 の脆さが大幅に改善された。

【2】社内外での電子材料別テスト加工による開発品の性能評価

関連するサブテーマ【2-1】【2-2】

⑬データベースの構築【2-1】

ワイヤーソーでスライスされる電子材料は、高品位で一般に非常に高価である。スライスコストの低減のために、ワイヤーソーは大型化し、それにつれて搭載される電子材料が1チャージ分、価格にして何百万円にもなる。ワイヤーソー開発当初は、仕上がった試作ワイヤーソーを、客先に提供して性能評価してもらう予定であったが、長尺ワイヤーソーの試作品が出来、社外に提供するには、ワイヤーソーの品質以外に、取り扱い上のノウハウの提供と、万一断線等でトラブル発生した時の材料の保証を求められても対応できないと判断した。

年度始めは、タカトリ製マシンが評価マシンとして1台保有していたが、現在最大のダイヤモンド固定ワイヤーソーのユーザとなりうる、太陽電池業界では、全てコマツNTC、TOYO エーテックなどの超大型マシンが使われている。タカトリ製マシンはワイヤーソーの走行速度が300m/minで、ソーラ用は700~1200m/minと高速化している。客先に使用上のノウハウの提供ができ、ワイヤーソーの品質の保証が得られるように、TOYO エーテックの最新の固定砥粒対応可のマシン購入、つづいてコマツNTCマシンを設置した。

⑥の項目で既述したように、従来機に単純にダイヤモンド固定ワイヤーソーを装着してすぐさま切断できない事が判った。とくにマシンメーカーまたは機種による差が大きく、制御能力によって断線しやすくなる事が判った。

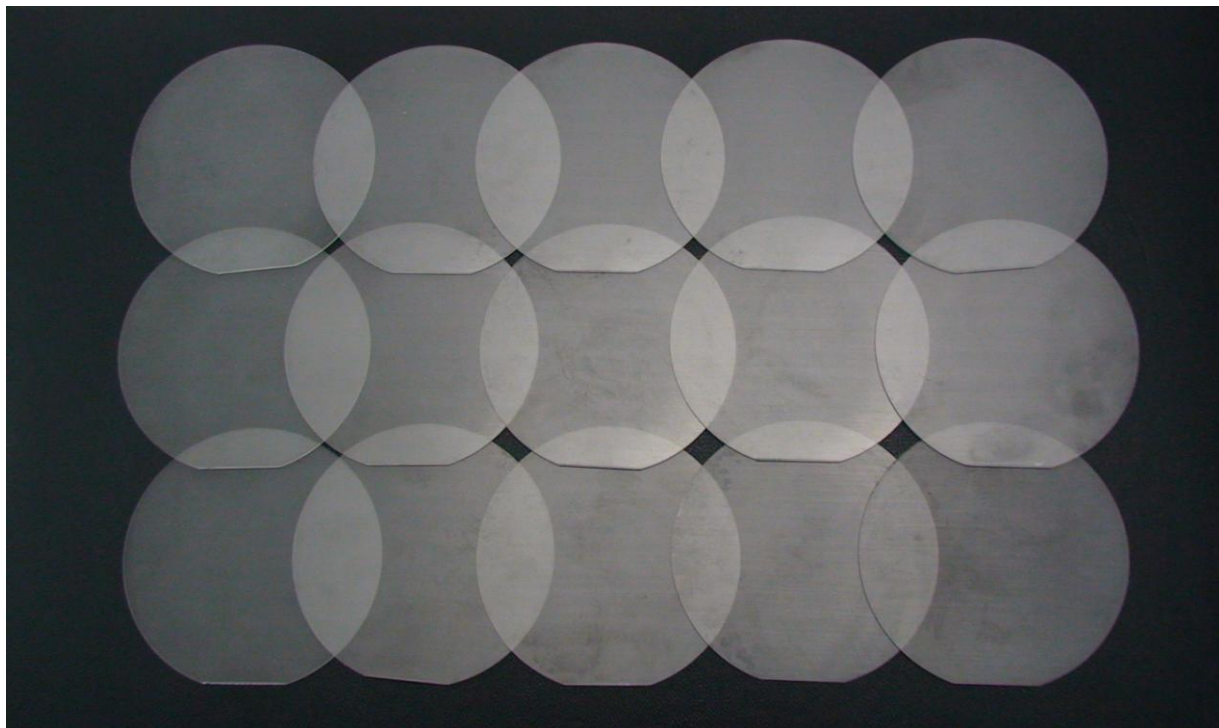
以上の問題点を踏まえて、改善することで、従来機でもダイヤモンド固定ワイヤーソーが充分使いきれると判断した。

各種マシンを使って、多結晶シリコン、単結晶シリコン、青板ガラス、 Al_2O_3 系高硬度セラミック、単結晶サファイアなどの切断テストをおこなった。

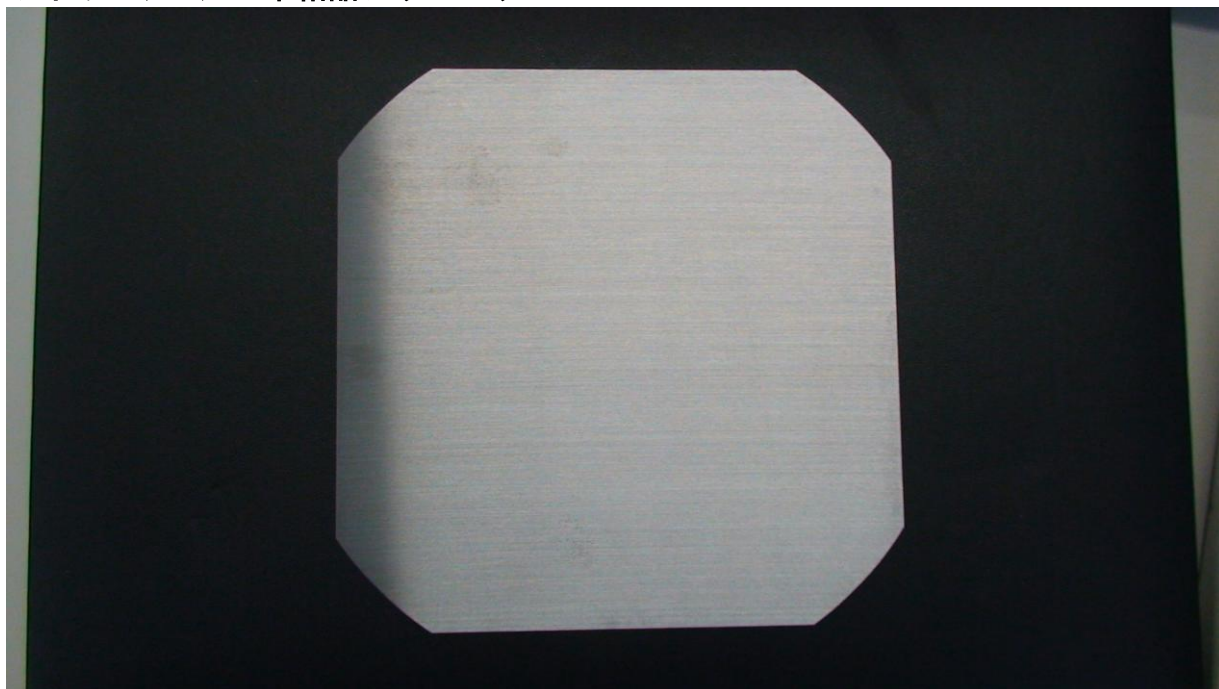
切断テストデータの信頼性を上げ、切断状況をリアルタイムで確認できるように、スイス・キスラー社の3分力動力計を21年3月購入した。

3成分動力計は、水晶圧電素子をは挟み込み、刻々と変化する切断分力をXYZにわけて測定できる。この測定器で得られた情報は、示唆に富んでおり、データベースを構築する上で有用な情報が得られる。

ワイヤーソー加工単結晶サファイアウエハー



ワイヤーソー加工単結晶シリコンウエハー



⑭サンプル出荷【2-2】

客先に万一のトラブル保証を含めた自信を持ったデータの蓄積が出来なかったため、サンプルの客先提出は、21 年度 7 月以降とすることとした。

客先で使用しているワイヤーソーマシンに近い機種で、各種材料を切断しウェハーの評価を願い、サンプル出荷に替えた。

第 3 章 全体総括

ロー付け法によるダイヤモンド固定ワイヤーソーの研究開発を計画した初年度、技術目標値を掲げた。本研究開発を終了するに当たり、全体的な進捗を技術目標値に沿って、定量的に総括する。

①製造コストの低減 目標値 ワイヤーソー販売価格 20 円/m 以下

ダイヤモンド固定砥粒ワイヤーソーが、国内外を問わず、ダイヤモンド工具メーカーなどが中心となって世界的に開発が進められ、電着ワイヤーソーを主流に、レジンワイヤーソーなどが市販されつつある。電着ワイヤーソーでは価格が 100～50 円/m と高く、一方レジンワイヤーソーは、価格が 20 円/m と安いものの砥粒保持力が弱く寿命が短いという問題があった。これを解決する方法として、ワイヤーソーの製造速度の速い、ロー付け法によるダイヤモンド固定ワイヤーソーを提案し、開発を続けた結果、所期の思惑とおり、実用に耐え、販売価格が 20 円/m 以下を達成できる見込みが付いた。

②長寿命化 目標値 レジン法の 3 倍以上

ロー付け法によるダイヤモンド固定ワイヤーソーは、ダイヤモンドの保持力がレジンより強い。したがって、基本的に長寿命化が期待できる。しかし、切断実験の結果、切断物や切断条件によって、ダイヤモンドの保持力を広い範囲で変える必要がある事が判った。これを解決するため、大枠でロー材の硬さ（強さで）2 種類、H タイプワイヤーソー、S タイプワイヤーソーを開発した。さらに H タイプワイヤーソーでは、ロー材を従来の F-1 からさらに靱性のある U-3 を開発した。H タイプワイヤーソーより軟質のロー材の適応も試み、市販品の組成をベースに、新たな元素を添加し、強度が 2 倍以上のロー材も開発し S タイプワイヤーソーを完成させた。ダイヤモンドの密度を変えることによって、ワイヤーソーとしての適応範囲が様々に変えられることも確認した。

切断テストにより、レジンより 3 倍以上の長寿命化のワイヤーソーができた。

③細線化 目標値 $\Phi 0.10\text{mm}$

ワイヤーソーの仕上がり線径は、スライス時の歩留まりに影響し、細いほど歩留まりが向上し、良いとされる。しかし、線径が細くなると、ワイヤーソーの張力が 2 乗で減じるため、切断精度が悪くなり、切断速度も低くなるというマイナスの要因が急増する事が、切断テストを通じて判明した。

開発の着手した時点では、標準線径は $\Phi 0.2\text{mm}$ であったが、初年度は $\Phi 0.18\text{mm}$ 、次年度は $\Phi 0.16\text{mm}$ と細線化し、本年度後半は、 $\Phi 0.12\text{mm}$ を標準仕様とすることができた。

ワイヤーソーとしては、Φ0.10mm を製作することは容易だが、実用化するには、マシンの制御が問題となりそうで、全てのワイヤーソー・マシンに安易に適應できない事が判った。今後細線が適應できる分野や、マシンの能力を含め、細線化対応を進める必要がある。

④低公害化の実現

目標 水加工の実施確認

ダイヤモンド固定ワイヤーソーは、切削液としてオイルでなく水が使える、かつ、ワイヤーの使用量が激減し、SiC 砥粒の必要もないことから、低公害加工化が実現できる。切断テストの結果、切削液として水に数%の研削液を添加するだけで、充分対応できる事が判った。

単に低公害化にとどまらず、例えばシリコンのスライス時に発生する大量の Si 切屑の回収は、切削液に水を使うことによって容易になり、リサイクルしやすくなって、再資源化に有効である。今後のテーマとしたい。

⑤マシンの生産性

目標値 2 倍以上

切断テストを、タカトリ製マシン、TOYO エーテックマシン、コマツ NTC マシンおよび内作製 簡易式切断試験機を含めると 4 種類のテスト機で評価した。

遊離砥粒式切断テストは、タカトリ製マシンのみ社内のテストで見極めたが、TOYO、NTC はメーカからの平均的な遊離砥粒式ワイヤーソーでの実績を参考とした。

多結晶シリコン、単結晶シリコン、青板ガラス、セラミック、単結晶サファイアの切断速度は、ロー付け法によるダイヤモンド固定ワイヤーソーは、遊離砥粒式ワイヤーソーに比べて、少なくとも 2 倍程度以上の生産性アップが見込める事が判った。

⑥高硬度材料の切断

目標 SiC、サファイアの切断能力の確認

目標であった SiC は、切断テストできる単結晶素材が入手できなかった。

単結晶サファイアの 2 インチは、タカトリ製マシンで可能であった。

一般的にダイヤモンド工具は、どんな条件でも使えるオールマイティー工具はない。ダイヤモンドの種類、コンセント（密度）、粒度などは当然ながら、ボンド（レジン、ビトリファイド、メタル、電着等々）の強さを微妙に調整して、用途に応じて、ダイヤモンドの潜在能力を発揮できるよう製作されている。

現状の市販されているダイヤモンド固定ワイヤーソーでは、レジン、電着ともに用途の幅が狭く、かつ細分化されてはいない。

今回のロー付け法によるダイヤモンド固定ワイヤーソー研究開発の結果、レジンから電着までカバーできる多様な能力を持つダイヤモンド固定ワイヤーソーが、用途に応じて製作できる技術が確立したといえる。

以上の研究開発の結果踏まえ、本研究開発テーマであるロー材ダイヤモンド固定ワイヤーソー技術をベースに、平成 21 年度秋からダイヤモンド固定ワイヤーソーを使った、ソーラー用シリコンウェハーをはじめとする、各種電子材料ウェハーのスライス事業を立ち上げる。

以 上