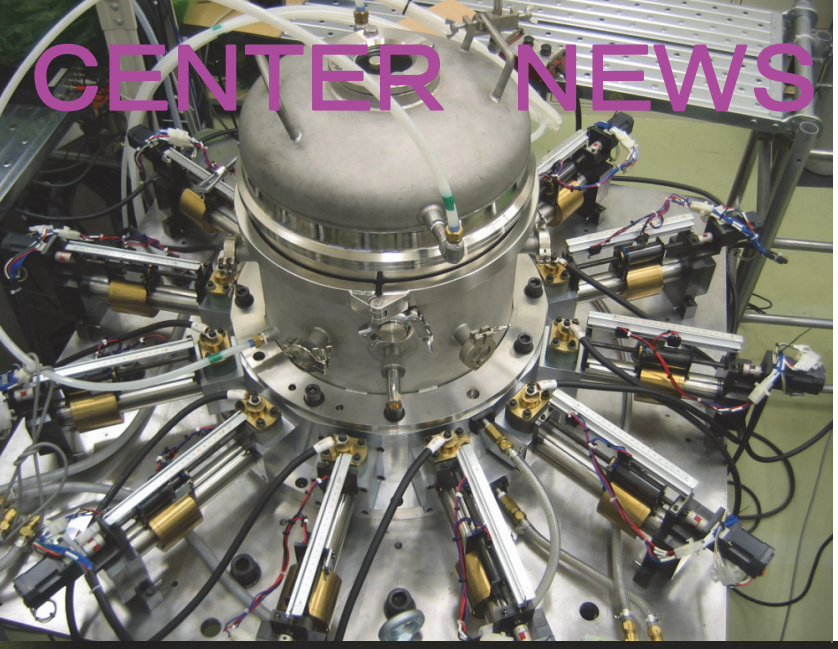
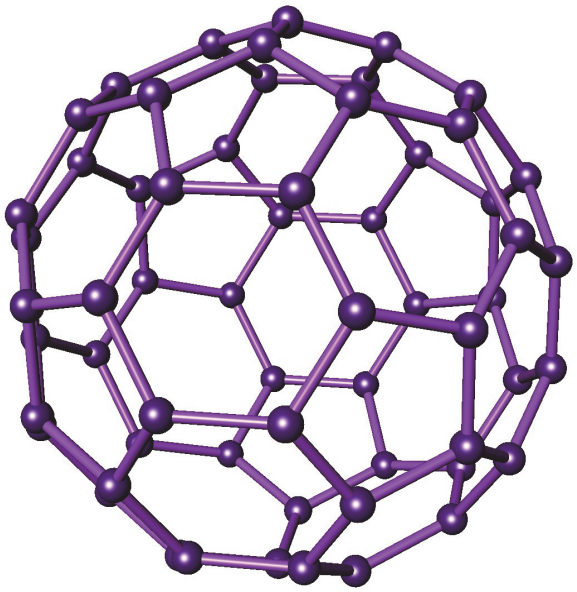
CENTER NEWS





115

2013- 12

-Contents-

研究紹介

多相交流アークプラズマによるフラーレンの合成 …… 2

製紐技術で作った特性インピーダンスを制御した伝送線路 …… 4

各種展示会出展報告 …… 7

設備紹介

真円度測定機の紹介 …… 8

福井県工業技術センター

研究紹介

多相交流アークプラズマによるフラーレンの合成

1．はじめに

フラーレンは、炭素原子が球状に結合した炭素同素体の1種であり、炭素原子60個で構成されるC60の場合、直径約0.71nm（百万分の0.71ミリメートル）のサッカーボール状（正20面体）の分子構造をしています。今から40年以上前の1970年に、豊橋科学技術大学の大澤映二教授により、その存在が予見されていましたが、1985年になってからイギリスのKroto氏らにより発見されました。フラーレンの主な用途としては、例えば電子を引き付ける能力が高いことから有機薄膜太陽電池の効率的な電子受容体として注目されています。また、その転がりやすい球形を生かして、機械の中の摩擦を少なくする潤滑剤としての役割や、まわりの物質の酸化を抑える抗酸化力を利用したアンチエイジング化粧品などへの応用も期待されています。

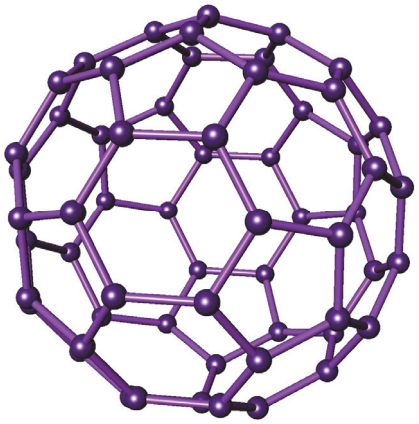


図1　フラーレン（C60）の分子構造

フラーレン生成のためには、まず煤を発生させます。その主な手法としては、①黒鉛をレーザーにより蒸発させる（レーザーアブレーション法）、②炭素棒を電流加熱して昇華させる（抵抗加熱法）、③炭素電極対をアーク放電により昇華させる（アーク法）、④ベンゼン等を不完全燃焼させる（燃焼法）⑤有機化学的に生成させる（化学的合成法）、等々があります。特に、日本では2002年から燃焼法によってトン/年単位のフラーレンの工業的生産が行われています。燃焼法は、液体のベンゼンを燃料とすることから、大量生成プロセスには適しています。しかしながら、得られる煤の量は、投入したベンゼンの数％であり、さらにフラーレンはその10％程度に留まることや大量の有機化合物が発生することが問題となっています。一方、アーク法は、装置の構造が簡単で、比較的容易にフラーレンを得ることが可能です。しかしながら、炭素原料の供給がカーボン電極の昇華に依存しなければならないため、生成効率を上げるためには、煤内のフラーレン含有量（フラーレン収率）を増やす必要があります。

そこで本研究では、複数の電極を使用できる多相交流アークプラズマ装置を用いて、フラーレンの効率的な合成を試みました。

2．実験方法

2－1　実験装置

本研究に使用する多相交流アークプラズマ装置の概要を図2に示します。この装置は、水冷ジャケットを備えたステンレス製の真空チャンバーに、最大12本のカーボン電極が同心円状に挿入されています。各電極には、それぞれ位相が調整された交流電源が接続され、最大12相の交流電流によりアーク放電が可能なシステムとなっています。この装置の特長は、通常の直流アークや単相交流の場合（電極数：2本）に比べてアークの放電経路が増えるので、電極の先端部の広い領域で安定したプラズマを発生させることが可能です。

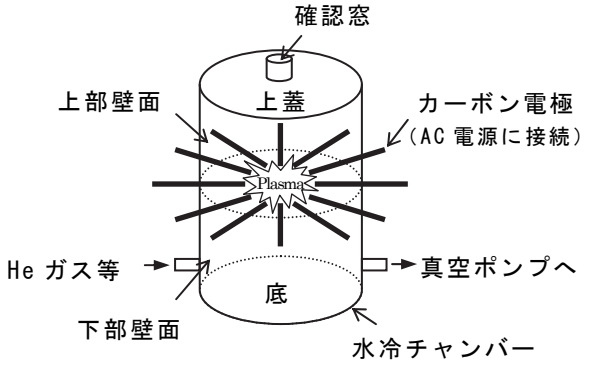


図2　多相交流アークプラズマ装置の概要図

2－2　実験結果

多相交流アークプラズマ装置において放電を行うと（図3）、カーボン電極の先端部が溶融し、昇華した炭素が水冷チャンバーの内面に凝縮して煤が生成します。チャンバーの上蓋内面に生成した煤の例を図4に示します。煤はチャンバー内部の全域に見られますが、特に内部ガス（He等）による対流の影響をうける上蓋内面と上部側壁部分において顕著に付着する傾向があります。

生成した煤をトルエン（溶媒）に溶解し、遠心分離後の上澄み液から溶媒のみ揮発させると、黒色の粉末状物質として残留したフラーレンが抽出されます。

チャンバー内におけるフラーレンの生成状況について調査した例を表1に示します（電極数：3相、電流密度：4A/mm^2、放電時間：15分間）。煤およびフラーレンは、チャンバーの上蓋内面および上部壁面（電極挿入位置から上の部分）に集中して生成されていることが分かります。また、煤生成量が少ないチャンバーの下部等その他の部分においては、フラーレンはほとんど検出されませんでした。

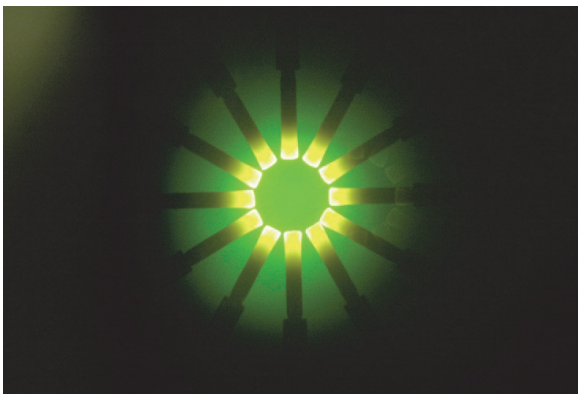


図3　アークプラズマ放電（12相）

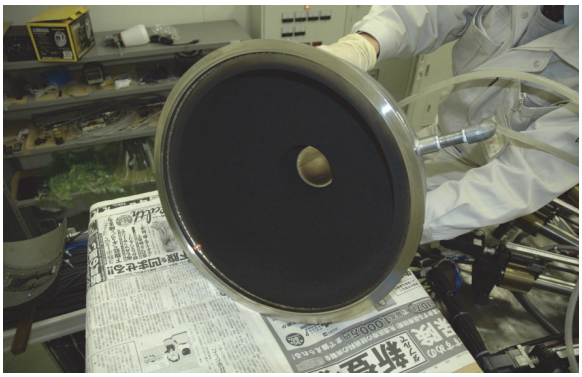


図4　チャンバーの上蓋に生成した煤

表1　生成煤量とフラーレン収率（3相、4A/mm^2）

	上蓋内面	上部壁面	その他	総量
煤量	292mg	109mg	45mg	446mg
収率	17.3%	13.7%	ND	14.7%

異なる電極電流密度（3相、3A/mm^{2}および4A/mm^2）におけるフラーレン収率を図5に示します。いずれも全体としては15％程度の収率が得られていますが、特に3A/mm^{2}の場合における上部壁面の収率は、約23％に達していることが示されています。通常のアーク放電法では、フラーレンの収率は10～20％程度であることから、多相交流アークプラズマ法は、効率的なフラーレン生成について優位性を有することが得られています。

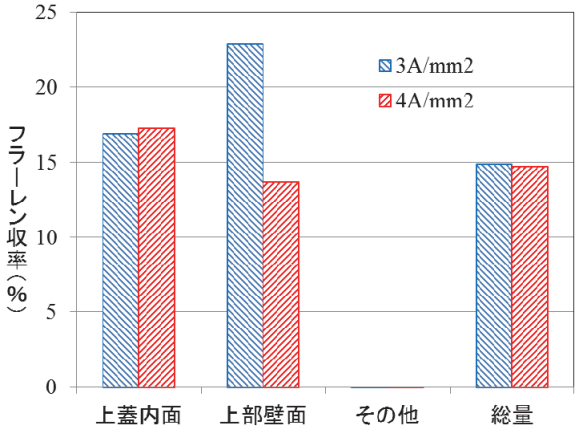


図5　フラーレン収率の電流密度依存性

3．まとめ

以上の結果より、多相交流アークプラズマによってフラーレンを効率的に生成させることが可能であることが分かりました。本手法は、燃焼法に比べてベンゼンが不要であることや有機化合物を排出しないことから、より安全でクリーンなフラーレン合成法であると期待されます。

担当者　新産業創出研究部　環境・エネルギー研究グループ
主任研究員　　佐野　弘　　専門分野／電子・情報システム

研究紹介

製紐技術で作った特性インピーダンスを制御した伝送線路

1. はじめに

高周波伝送線路では、伝送路上での電圧電流の反射を防ぐため、特性インピーダンスを厳密に合わせることが求められています。また、近年の高速大容量化するデジタル伝送においては、小型化する電子機器に合わせた、伝送線路の細線化や耐ノイズ性も求められています。このような高速伝送には、ノイズに強い差動伝送線路が使われることが多く、特性インピーダンスを制御した平衡伝送線路を構成できるケーブルが必要とされています。

当センターでは、繊維技術を利用して、特性インピーダンスを自由に設定できる差動伝送線路用ケーブルの製造法を開発しました。この製造法は、化学繊維を誘電体として、製紐機によって導体に巻き付ける方法です。同軸ケーブルとする場合には、さらに金属の平箔糸を製紐機によって巻き付け、外導体を形成します。また、平行二線ケーブルとする場合には、化学繊維を巻き付けた導体細線を二本引きそろえ、その周囲に製紐機によって化学繊維を巻き付けて纏めて平衡ケーブルにします。

この化学繊維を誘電体とする方法では、従来の樹脂を誘電体とするケーブルの製造法と比べて、誘電体を成形するための金型を必要とせず、所用の特性インピーダンスに合わせて化学繊維と導体細線の太さを選択します。

この伝送線路の特長としては、繊維によって誘電体層を形成するため誘電体層に空隙を含むことで、誘電体層は全体として誘電率が下がり、化学繊維の材料単体の誘電率よりも、誘電体層全体としての誘電率は小さくなります。この結果、伝送線路の誘電体損に起因する伝送損失も小さくなります。

このように繊維を誘電体層としたケーブルは、特性インピーダンスを比較的簡単に制御できる反面、誘電体層の空気層が絶縁耐圧を小さくしていることが難点であり、外導体の直径が0.8mmの同軸ケーブルの場合、絶縁破壊電圧は500V程度となります。

2. 伝送線路の特性インピーダンス

二導体系の伝送線路の特性インピーダンスZcは、単位長さ当たりの自己インダクタンスをL、静電容量をCとすると、次式で表されます。

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \qquad (1)$$

ここで、レッヘル線のような円形断面を持つ二本の平行な導体線から成る伝送線路の場合、導体の半径が小さいほど、自己インダクタンスLは大きくなります。一方で、静電容量Cは導体の表面積が大きいほど大きく、二本の導体間の距離が大きいほど小さくなります。よって、細い導体で構成したレッヘル線は、比較的高い特性インピーダンスを持つことになります。

平行二線の伝送線路の応用として、ダイポールアンテナの給電線やLANケーブルなどでは、特性インピーダンスが50～100Ω程度の低インピーダンス線路が使われます。平行二線の低インピーダンス線路を製造する場合、大きな円形断面を持つ導体を近接して配置すれば良いですが、大きな断面の円形導体は可撓性が小さく、また近接させるにも限度があります。

そこで、円形断面を持つ二本の導体を平行に並べ接触させ、一本の導体として化学繊維で包み絶縁することで、表面積を増加させた電線を二本使って、平行二線伝送線路を構成しました(図1)。この平行二線伝送線路は、向かい合う導体の対向する面積を増やすことで、単位長さ当たりの静電容量を増やすことができるため、低インピーダンス化することができます。

さらに、低インピーダンス化する方法として、図1の平行二線伝送線路を導体で被覆し、シールド付き平行二線伝送線路とする方法があります(図2)。一体化した二本の導体は、外導体のシールド層との間にも静電容量を持つため、図1の構成よりも低インピーダンス化できます。

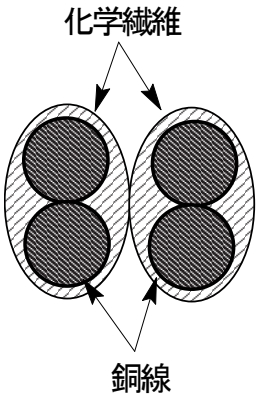


図1　多芯伝送線路

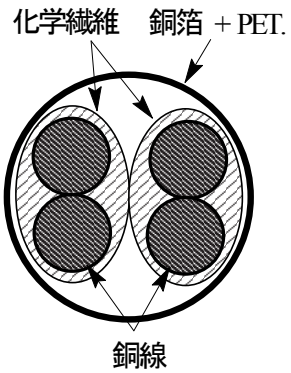


図2 シールド層を設けた多芯伝送線路

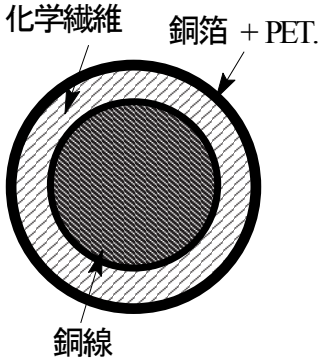


図3　同軸伝送線路

図1と図2の構成を、同一の電線、化学繊維層で比較すると、図2の構成は、図1よりも約半分の特性インピーダンスを持った伝送線路になります。図2の構成の平行二線伝送線路は、差動伝送回路に有用であると考えられ、外導体のシールド層を接地して、内側の二線で差動信号を送受信すると、ノイズの影響を受けにくい信号の授受ができます。

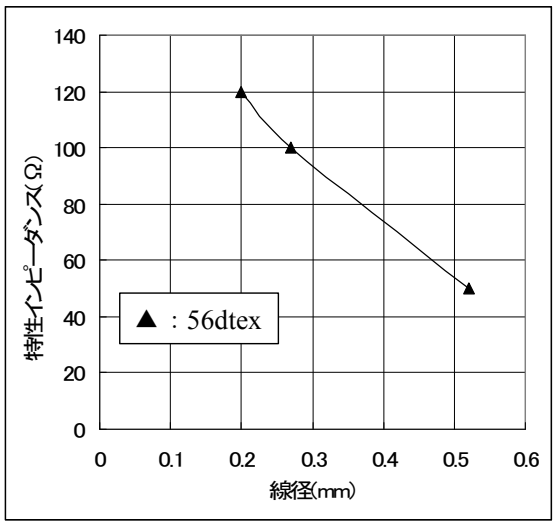


図4　図１の構成の伝送線路

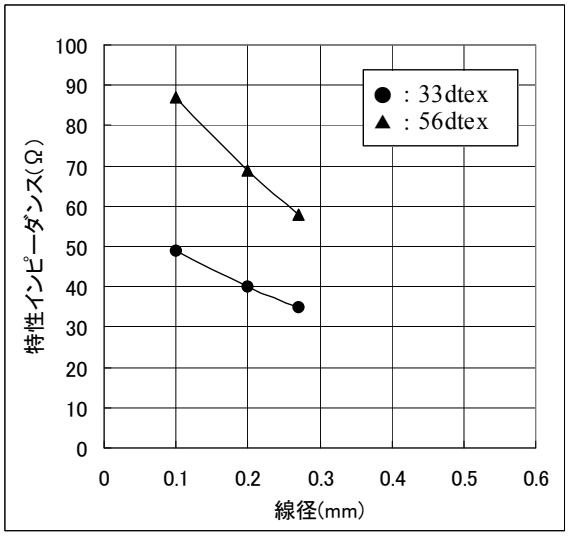


図5　図2の構成の伝送線路

図2の構成の伝送線路を、内側の導体を一本にすると通常の同軸ケーブルになります。同軸ケーブルの特性インピーダンスは、よく知られているように[1]、(1)式を同軸ケーブルの断面寸法で表し、内導体の直径をa、外導体の内径をb、絶縁層の比誘電率をεrとして、

$$Z_c = \frac{376.7}{2\pi\sqrt{\varepsilon_r}} log_e \frac{b}{a} \qquad (2)$$

一般的な同軸ケーブルの特性インピーダンスには、50Ωと75Ωの物があります。図3の構成では、被覆する化学繊維に太さ33dtexのポリエステルを使った場合、中心導体の径を0.2mmの導線で75Ω、0.27mmの導線で50Ωの特性インピーダンスが得られました。

以上の図1、図2、図3の構成の伝送線路において、導線の直径と絶縁層をつくる化学繊維の太さと、特性インピーダンスの関係を図4、図5、図6に示します。

図6のグラフでは、式(2)にしたがって特性インピーダンスが変化すると思われます。しかし、繊維で構成する絶縁層の厚さには冗長性があり、また糸の太さによる製紐機の調整具合により、絶縁層の厚さが理論どおりに成らないため、(2)式とはズレが生じます。

図1，図2の構成の伝送線路については、特性インピーダンスの解析的な式はありませんが、図4、図5が設計の指針になります。

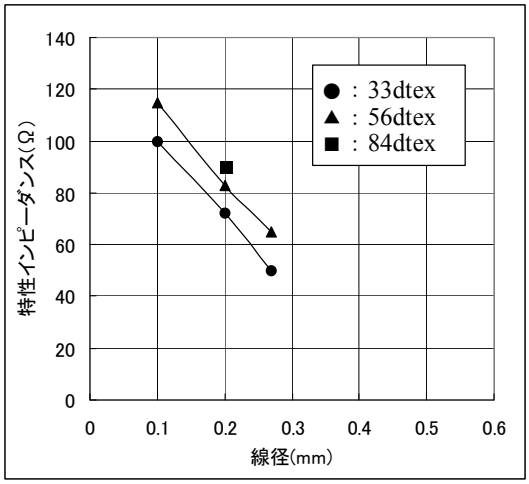


図6　図3の構成の伝送線路

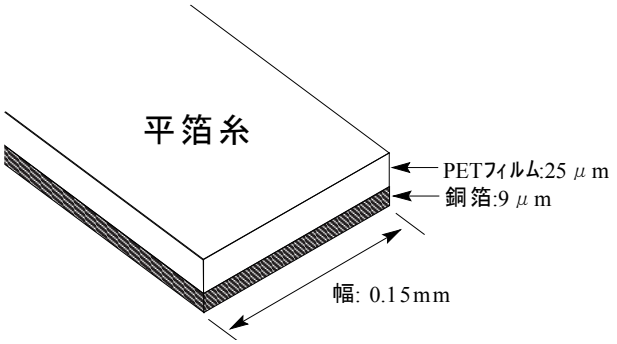


図7　平箔糸の構造

3. 試作ケーブルの仕様

この特性インピーダンス50Ωの同軸ケーブルの仕様は、中心導体が直径0.27mmの銅線、絶縁層は太さ33dtexのポリエステル繊維で形成し、外導体を幅0.15mmの平箔糸で製紐して、同軸ケーブルの太さは、外導体の仕上りで直径0.65mmです。

平箔糸は、図7のように、銅箔をPETフィルムが裏打ちする構造になっています。この平箔糸は、耐張力を増すためにPETフィルムが使われており、製紐時に切れることを防止しています。また、製紐時に全ての平箔糸が、銅箔面が内側に向けて組まれるように製紐機を調整しており、ケーブルの伝送損失低減を図っています。このとき、PETフィルムの両面が銅箔になっている物を使うと、伝送損失が増加することを確認しています。

4. むすび

生産機には製紐機だけを使って、金型を使うことなく、特性インピーダンスを制御した差動伝送用のケーブルを製作しました。

近年の電子機器が高速大容量通信を行っているのに合わせ、信号線には差動動作に適した伝送線路が必要とされ、その特性インピーダンスを厳密に整合させることのできる伝送線路が求められています。

これに適した差動伝送線路として、片方のケーブルが二本の導体からなる平衡ケーブルを提案しました。これは、低インピーダンスで使われる伝送線路に適しており、外導体を設けることで、更に約半分の特性インピーダンスにすることができます。

また、従来の高周波ケーブルの誘電体層はフッ素樹脂が用いられる事が多く、リサイクルができない材料であり、焼却の際の有害ガスの発生が問題になっています。このフッ素樹脂誘電体層に変わる材料として、通常の化学繊維を誘電体層にすることで、リサイクルな可能な材料で高周波ケーブルを製作することができました。

＜参考文献＞

[1]中島将光著「マイクロ波工学」、森北出版
[2]岩崎俊著「電磁波計測」、コロナ社

担当者　新産業創出研究部　レーザ・電子線研究グループ
主任研究員　末定　新治　　専門分野／電磁環境・電波伝播

各種展示会出展報告

1. 中部地域公設研テクノフェア2013

「中部地域公設研テクノフェア2013」では、(独)産業技術総合研究所中部センターならびに中部地域の公設試験研究機関(10機関)が技術シーズ・連携成果等を紹介しています。今回は、10月9～11日、「第3回次世代ものづくり基盤技術展 TECH Biz EXPO 2013」内において開催し、当センターでは下記の3テーマについて展示紹介を行いました。

＜展示内容＞

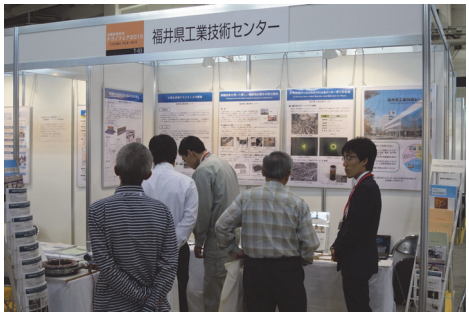
・開繊技術を用いた新しい繊維強化複合材料の開発
・CFRPを用いた薄層セパレータの開発
・CFRP穿孔ドリルの開発

2. テクノリサーチコンファレンス2013

テクノリサーチコンファレンスは、地域経済の核となる中小企業の技術力向上を図り、産業技術総合研究所・公設試験研究機関の研究成果を中小企業者に広く浸透させるため、近畿経済産業局主催で開催しています。今回は、12月3～4日、池田泉州ホールディングス主催の「ビジネス・エンカレッジ・フェア2013」内において「近畿地域産業技術連携推進会議コーナー」として近畿地域の公設試験研究機関等11機関がそれぞれの研究成果を出展しました。

＜展示内容＞

・開繊技術を用いた新しい繊維強化複合材料の開発
・太陽光発電テキスタイルの開発
・CFRP穿孔ドリルの開発



北陸技術交流テクノフェアの展示

3. 北陸技術交流テクノフェア2013

北陸技術交流テクノフェアは、北陸最大規模の総合技術展として、産学官交流による新技術や新産業の創出を目的に、10月16～18日、福井県産業会館で開催されました。当センターでは、8テーマを展示し、研究成果の紹介を行いました。また、特別展「“モノづくりを変える”3Dプリンター」において、3D試作センターの紹介を行いました。

＜展示内容＞

・開繊技術を用いた新しい繊維強化複合材料の開発
・太陽光発電テキスタイルの開発
・多相交流アークプラズマによるナノカーボンの合成
・眼鏡枠の高精度曲げ加工方法の開発
・カーボンナノチューブ複合プラスチックの導電性に関する研究
・改質セルロースファイバーによるポリ乳酸樹脂の高性能化
・高速微少変位センサによる超音波振動の観測-フォトニックセンサ-
・金属箔を製紐した可撓性方形導波管

越前おおの「産業と食彩」フェアの展示

4. 県内の産業フェア

丹南産業フェア、さばえものづくり博覧会、越前おおの「産業と食彩」フェアに出展し、下記のテーマについて展示紹介を行いました。

展示会名・開催日・場所	テーマ名
丹南産業フェア2013 H25.9.14～16　サンドーム福井	手袋型RFIDリーダーの開発 金属ガラス関連 刃物の切れ味試験機
さばえものづくり博覧会2013 H25.10.18～20　鯖陽会館	彩色和紙の開発 レーザ微細加工 織物の光沢特性に関する基礎研究 低温で焼成する新越前焼の開発
越前おおの「産業と食彩」フェア2013 H25.11.9～10　越前おおの結ステーション	彩色和紙の開発 3D試作センター

【担当】　企画支援室　技術相談グループ

設備紹介

真円度測定機の紹介

真円度とは、円形状に加工されたものがどれくらい真円に近いかを評価する指標で、金型、シャフト、ノズル、パイプ、ベアリング、機械部品などの形状や回転精度の評価に用いられます。

本装置では、JIS B 0621「幾何偏差の定義及び表示」に沿った、真円度、円筒度、同軸度、同心度、振れ、真直度、平行度、平面度、直角度などを測定することができます。回転する台の上に試料を載せ、接触子（スタイラス）によって表面をトレースすることで、その断面の測定を行います。

＜装　置　名＞

真円度測定機

＜メーカー・型式＞

アメテック㈱　テーラーホブソン事業部　タリロンド 585

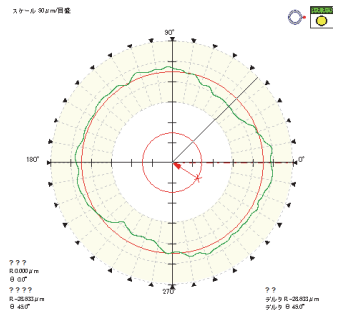
真円度測定機

＜仕　様＞

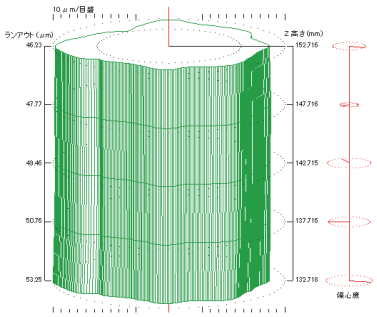
最大測定径：350mm
外周面最大測定高さ：500mm
内周面最大測定深さ：160mm
最大積載重量：75kg
分解能：±1mm範囲/0.008μm
自動心出し、自動水平出し
付属品：六つ爪チャック（外径2～32mm、内径20～95mm）、スタイラス各種

＜使用例＞

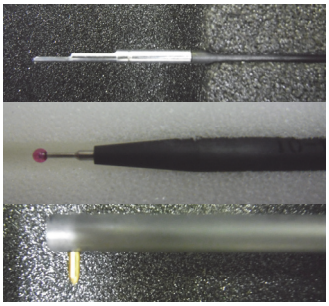
外周面だけでなく、内周面、小穴、段付き部品、テーパー部品、切り欠きがある部品の測定などを行うことができます。



真円度測定結果



円筒度測定結果



スタイラス各種

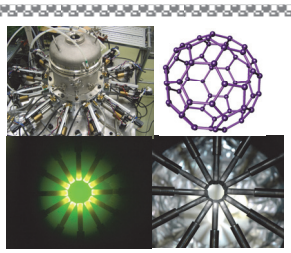
【問い合わせ先】　機械・金属部　金属加工研究Ｇ　元山　尚乙

福井県工業技術センターニュース　No.115　平成25年12月発行

編集・発行　福井県工業技術センター　企画支援室
〒910-0102　福井県福井市川合鷲塚町61字北稲田10
Tel：0776-55-0664　Fax：0776-55-0665
E-Mail：kougi@fklab.fukui.fukui.jp　URL：http://www.fklab.fukui.fukui.jp/kougi/

（本誌掲載の写真・記事の無断転用を禁じます。）

☆環境への配慮から、ご来場につきましては、できる限り公共交通機関を利用してください。
また、止むを得ず自動車で来られる場合には、アイドリングストップにご協力ください。



表紙（左上）多相交流アークプラズマ装置
（右上）フラーレンの分子構造
（下）アークプラズマ放電とカーボン電極

13.12.18570