

平成23年度第3次補正予算事業 戦略的基盤技術高度化支援事業

ゴムコア通電ボールを応用した電気接点部材開発

研究開発成果等報告書

平成25年 3月

委託者 東北経済産業局
委託先 特定非営利活動法人
東大環境マネジメント工学センター

目 次

第 1 章	研究開発の概要	1
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2	研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	1
1-3	成果概要	5
1-4	当該研究開発の連絡窓口	6
第 2 章	本論	7
2-1	ゴム球状粒子の製造技術確立	7
2-1-1	高耐熱、低熱膨張シリコーンゴムの開発	7
2-1-2	粒径制御技術開発	8
2-2	ゴム球状粒子への金属皮膜形成技術確立	9
2-2-1	下地処理技術開発	9
2-2-2	機能性メッキ技術開発	11
2-3	ゴムコア通電ボール検査技術確立	13
2-3-1	変形挙動に関する調査	13
2-3-2	物性検査技術の開発	17
2-4	ゴムコア通電ボールを利用した電気接点部材の開発	20
最終章	全体総括	21

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

自動車用の電子デバイスは安全性の面から、現在使用されているデジタル家電の安全基準では基準値以下のため使用することが不可能であり、一世代古い技術であるリードフレームやコネクタを多用した技術が主流である。

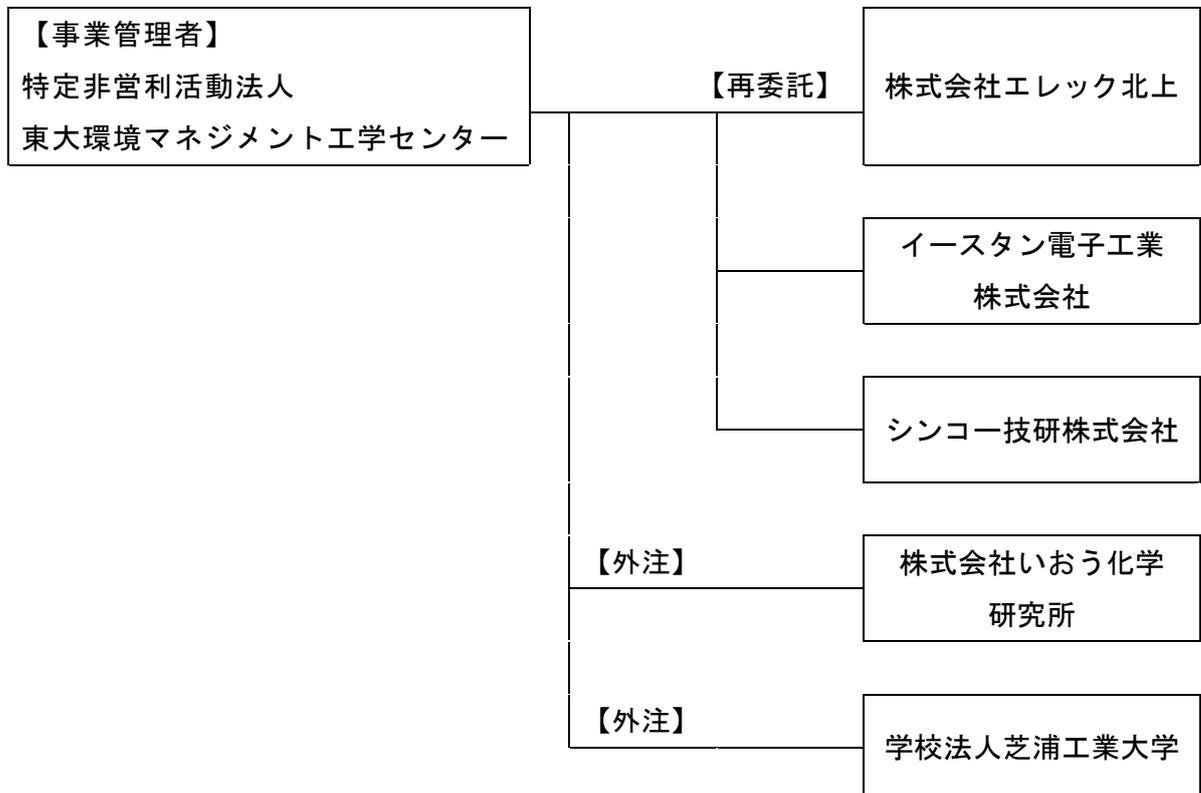
そこで電子デバイスの接合手法として、安全基準に達する次世代の技術である高温度・低音耐熱性能・耐衝撃性・復元性に優れたゴム球状粒子に、非結晶性の導電皮膜を形成した新たな接合端子となるゴムコア通電ボールを開発する。自動車関連分野でも金属バネ材を用いた接続に代わり、ゴムコア通電ボールを用いた小型で軽量の接続方式を新たに採用することによって、自動車電装品のコネクタ部の省スペースと軽量化につなげ、自動車全体の軽量化と省エネルギー化に寄与することを目指す。

また、情報通信機器分野においては、高集積、高速化に伴い、外部端子間ピッチが0.5mm以下となり、これらを検査する装置の開発も並行して急がれている。しかし、従来の金属バネ材内蔵の検査用プローブでは極細バネ材の強度低下、高抵抗化のために、小型、多ピン・高密度化や高周波特性評価の限界にきている。そのため、金属バネ材に代わる新たな発想の接点方式を用いて、実装前ウエハ検査技術や3次元実装対応の検査技術、微細化する接合部検査技術や電気検査技術の早期確立に寄与することを目指す。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）

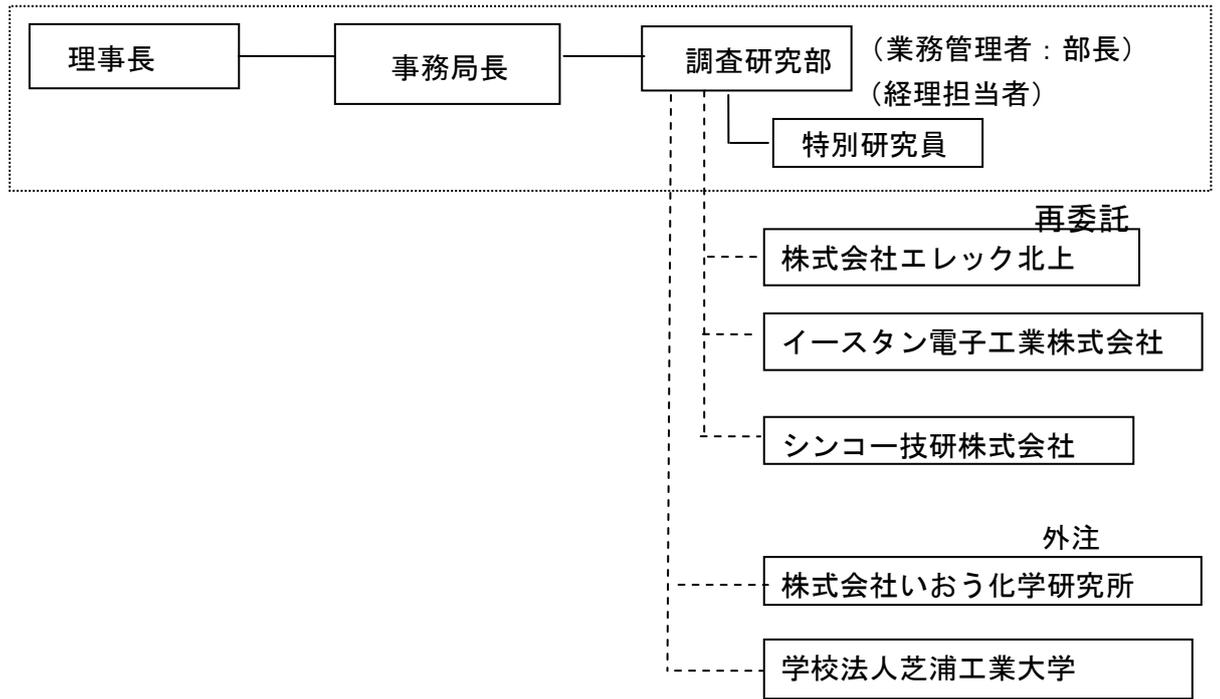


総括研究代表者（PL）
 株式会社エレック北上
 取締役製造部長
 石田 巖

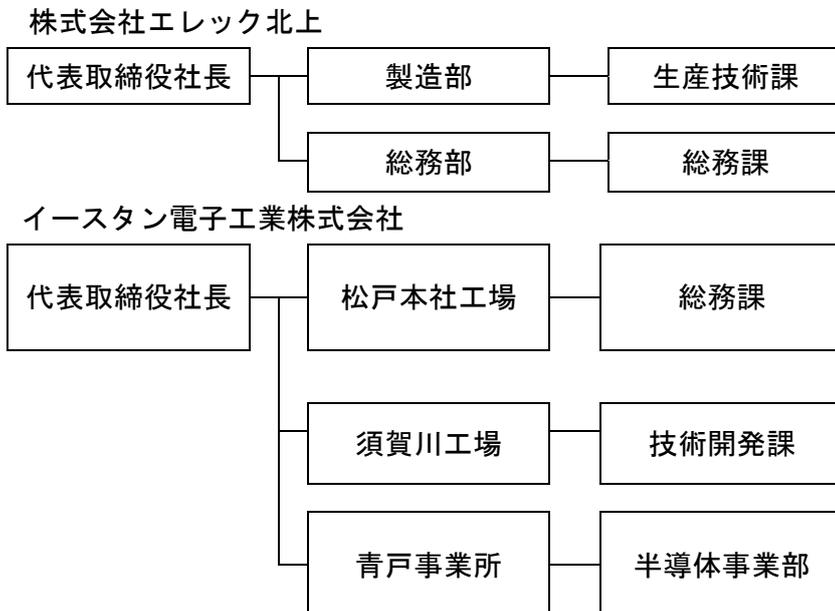
副総括研究代表者（SL）
 特定非営利活動法人
 東大環境マネジメント工学センター
 特別研究員 榎 学

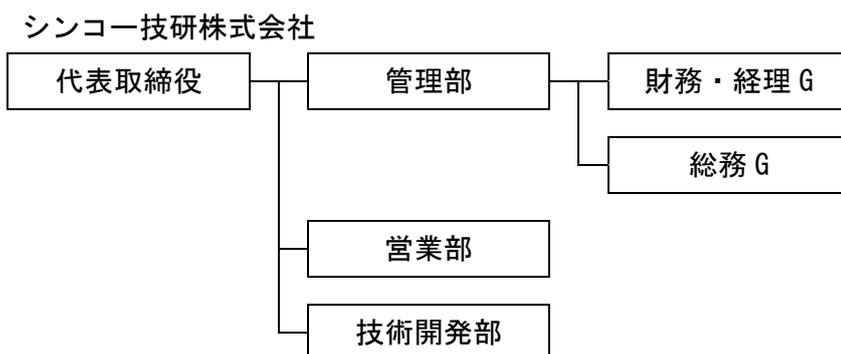
2) 管理体制

① 事業管理者 [特定非営利活動法人東大環境マネジメント工学センター]



② (再委託先)





(2) 研究員及び管理員 (役職・実施内容別担当)

【事業管理者】 特定非営利活動法人東大環境マネジメント工学センター

①研究員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
榎 学	特別研究員	③-2 SL
阿部 英司	特別研究員	③-2
瀧澤 明道	研究員	③-2、④-1

②管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
小島 彰	理事長	⑤
伊藤 瑛二	調査研究部長	⑤
瀧澤 明道(再)	研究員	⑤
佐藤 麻子	管理員	⑤

【再委託先 (研究員)】

株式会社エレック北上

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
石田 巖	取締役製造部長	② -1、② -2、③
板沢 勇一	生産技術課課長	-1PL
上村 和哉	生産技術課	②-1、②-2、③-1
岩淵 諒	生産技術課	②-1、②-2、③-1
		②-1、②-2、③-1

イースタン電子工業株式会社

氏名	役職・所属	実施内容 (番号)
石井 誠	取締役工場長	③-2、④-2
萩元 洋一	常務取締役	③-2、④-2
高木 伸輔	事業部長	③-2、④-2
鈴木 博千	技術課長	③-2、④-2

有馬 徹	設備担当課長	③-2、④-2
三瓶 誠	品質管理課主任	③-2、④-2

シンコー技研株式会社

氏名	役職・所属	実施内容（番号）
府川 通博	取締役会長	①-1、①-2
入内島 忍	博士	①-1、①-2
吉田 清	取締役工場長	①-1、①-2
新國 文亮	技術開発部長	①-1、①-2
池谷 信一郎	技術開発部	①-1、①-2
清水 朋美	品質管理 G	①-1、①-2
齋藤 学	営業部	①-1、①-2

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理者】

特定非営利活動法人東大環境マネジメント工学センター

(経理担当者) 調査研究部 佐藤 麻子
(業務管理者) 調査研究部 部長 伊藤 瑛二

【再委託先】

株式会社エレック北上

(経理担当者) 総務部 総務課 係長 新沼 民夫
(業務管理者) 代表取締役社長 林 和幸

イースタン電子工業株式会社

(経理担当者) 事業部長 高木 伸輔
(業務管理者) 常務取締役 萩元 洋一

シンコー技研株式会社

(経理担当者) 管理部 財務・経理 G 醍醐 道恵
(業務管理者) 山北工場 取締役工場長 吉田 清

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

研究推進会議 委員

氏名	所属・役職	備考
林 和幸	株式会社エレック北上 代表取締役社長	
石田 巖	株式会社エレック北上 取締役製造部長	委 PL

板沢 勇一	株式会社エレック北上 生産技術課課長	委	
上村 和哉	株式会社エレック北上 生産技術課	委	
桐田 栄	イースタン電子工業株式会社 代表取締役社長		
石井 誠	イースタン電子工業株式会社 取締役工場長		
萩元 洋一	イースタン電子工業株式会社 常務取締役		
高木 伸輔	イースタン電子工業株式会社 事業部長	委	
府川 通博	シンコー技研株式会社 取締役会長		
吉田 清	シンコー技研株式会社 取締役工場長	委	
池谷 信一朗	シンコー技研株式会社 技術開発部	委	
榎 学	東大環境マネジメント工学センター 特別研究員	委	SL
阿部 英司	東大環境マネジメント工学センター 特別研究員	委	
瀧澤 明道	東大環境マネジメント工学センター 研究員	委	
小島 彰	東大環境マネジメント工学センター 理事長	委	
伊藤 瑛二	東大環境マネジメント工学センター 調査研究部長	委	
松野 祐亮	株式会社 いおう化学研究所 研究開発部		アドバイザー
高山 直亮	株式会社エンプラス 半導体事業部		アドバイザー
杉山 剛博	日立電線株式会社 技術研究所		アドバイザー
阿部 孝之	国立大学法人富山大学 水素同位体科学研究センター 教授		アドバイザー
苅谷 義治	学校法人芝浦工業大学 豊洲キャンパス 工学部材料 化学・化学群 材料工学科 准教授		アドバイザー

アドバイザー 氏 名	主な指導・協力事項
松野 祐亮	シリコンゴム下地処理技術アドバイス
高山 直亮	ピンソケットの耐久性評価・技術指導
杉山 剛博	TAB テープ基板上に本製品を用いた半導体ソケットコネクタ開発
阿部 孝之	バレルスパッタリング法の技術提供
苅谷 義治	マイクロ振動でデバイス信頼性評価技術を有し、研究室での製品信頼性評価の支援

1-3 成果概要

サポイン事業により、平成24年4月1日から平成25年3月15日までゴムコア通電粒子におけるコア材料の開発を行った。コアに用いる主材料は、ゴム弾性と高耐熱性が必要であることから、ベース材料としてシリコンゴムを選択した。さらに、金属材料との複合材料になることから、これを金属に近い熱膨張率に近づけることを目

的として検討を行った。その結果、より低熱膨張の材料を合成することに成功した。しかし、熱膨張率と弾性には二律背反の関係があり、それぞれを独立して制御するのは難しく、今後の課題として残る。

コアの形状に関しては、粒径のそろった球状のものが必要であるため、これを効率よく得るために、マイクロチャネルを用いた粒径制御を試みた。鋭意検討の結果、チャネルの設計や造粒系の検討により、単分散の粒子を得る事に成功した。

ゴム球状粒子への金属皮膜形成技術確立のテーマの中で①下地処理技術開発については、本事業で準備したPVD装置で、逆スパッタ・RFスパッタを用いることにより、各種の金属（銅・白銅・銀・Pd）をゴム粒子へ皮膜形成することが出来た。湿式メッキでの水分含浸を抑えることができ、均質なメッキ処理が出来た。

②機能性メッキ技術開発については、ゴム粒子に銅スパッタを施し、その後湿式メッキで銅、ニッケル、金の皮膜を形成。変形率 10%ながら繰り返し 1000 回で亀裂のはいらない金属皮膜を形成するメッキ条件が確立出来た。

有限要素法によるひずみ解析、圧縮試験、繰り返し圧縮試験、マイクロインデンテーション試験および観察結果のゴムコアボールの変形および破壊挙動について検討し、以下の結論が得られた。ひずみ解析の結果からは、圧縮試験を行う場合は、治具との接触する端部の銅の部分において、大きな塑性ひずみが発生することが分かった。また、ゴムの径がひずみ分布に及ぼす効果は限定的であることが分かった。圧縮試験においては 10%程度のひずみを与えることにより、銅が変形することが分かった。30%程度のひずみによりき裂が発生することが分かった。これは AE の発生するタイミングおよび有限要素法によるひずみ解析の結果と対応していた。マイクロインデンテーション試験の結果から、変形力の負荷速度依存性があることが分かった。これはゴムの粘性に起因するものと考えられる。またこの方法を用いることにより、ゴムコアボールの硬さを定量的に評価できることが分かった。以上の解析方法および実験方法を用いることにより、ゴムコアボールの力学特性の評価が可能となった。この結果をサンプルの作製プロセスにフィードバックすることが期待される。

試作したゴムコア通電ボールを繰り返し変形を行ったところ、常温下での 10%変形使用には十分に対応できるボールは出来た。しかし、耐熱、安定性に課題は多く、更なる開発評価が必要である。

TABテープ接続部材としての応用を検討し、ゴムコア通電ボールを組み込んだ接続端子システムのデータ転送速度は光ファイバーケーブル並みであり、ゴムコア通電ボールの優位性が確認できた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

特定非営利活動法人 東大環境マネジメント工学センター

〒105-0003 東京都港区西新橋 1-5-11 第 11 東洋海事ビル 6F

調査研究開発部 部長 伊藤 瑛二

TEL:03-3592-1381 FAX:03-3592-1285 E-mail: ito.eiji@nifty.com

第2章 本論

2-1 ゴム球状粒子の製造技術確立

2-1-1 高耐熱、低熱膨張シリコンゴムの開発

ゴムコア通電粒子のコア材料は、接点間の適切な接圧を保つためにゴム弾性が必要である。それと同時に、その使用環境を考えると、高耐熱性であることが必要である。この要求に対し、シリコンゴムは260℃～-70℃程度での使用が可能なゴム¹⁾であることから、コア材料の主原料として用いることとした。実際に使用したシリコンは、反応性シリコンオイルをベースとして用いた(図2.1.1)。

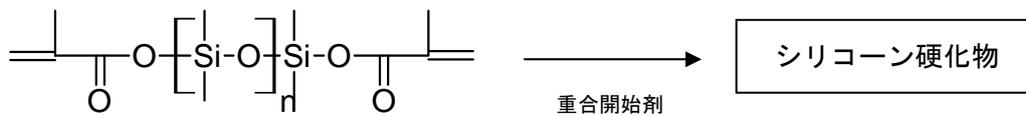


図2.1.1 ベース材料の基本構造と反応

しかしながら、一般的なシリコンゴムは、線熱膨張係数が使用温度域で200ppm/K～400ppm/K程である。一方で金属は10ppm/K前後であり、最終的に複合材料となったとき、熱膨張の差による破壊が生じる恐れがある。このため、熱膨張係数が金属に近いシリコンゴムの開発を試みた。

検討内容としては、1) 低熱膨張係数材料の混合(シリカ、タルクの使用) 2) π - π スタッキングの利用(ジビニルベンゼンとの共重合)、3) 高架橋密度化(官能基の多いシリコンの使用)による低熱膨張材料化を試みた。熱膨張率の評価は、塊状のシリコン硬化物を作成し、温度差を付けた時の塊の長さの変化を測定することで、簡易的に行った。

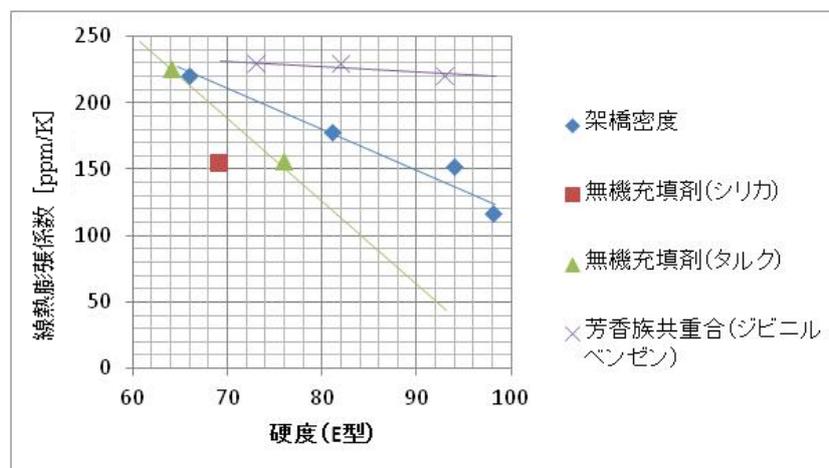


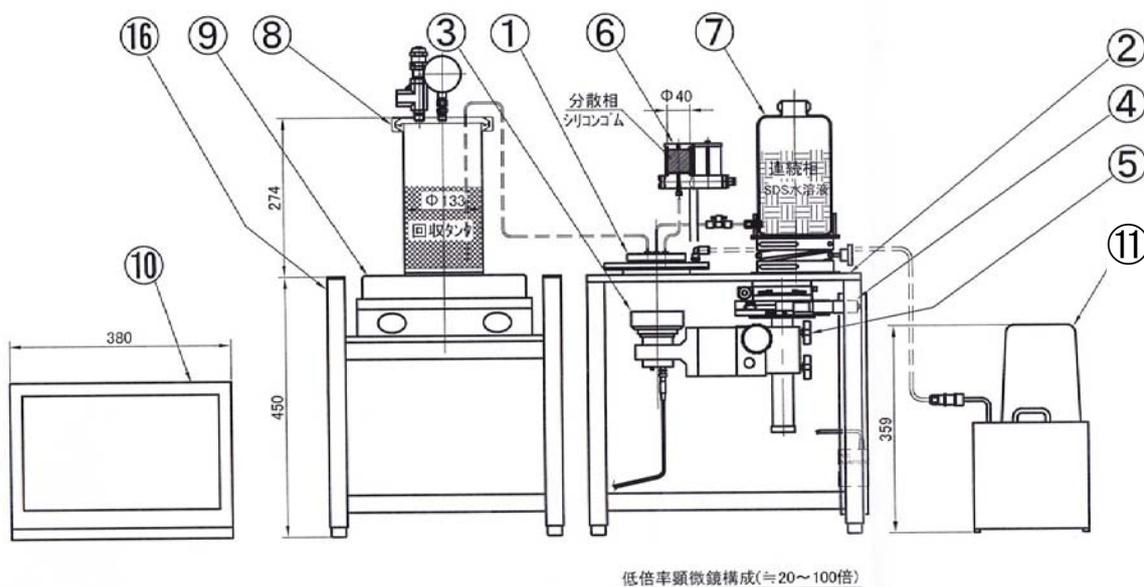
図2.1.2 硬度と線熱膨張係数の関係

※ゴムの硬度は弾性と相関があるため、目安として使用

検討の結果、線熱膨張係数の低減に成功し、簡易測定で120ppm/K以下の材料を合成することが出来た(図2.1.2)。ただし、低熱膨張化に伴い硬度も高くなる傾向があることも判明した。硬度と熱膨張係数はセットで考えなくてはならず、今後の課題として残る。

2-1-2 粒径制御技術開発

球状の微粒子を得る方法はいくつかの方法があるが、一定粒径の粒子を効率よく得るために、本研究ではマイクロチャネルを用いた粒径制御²⁾を試みた。マイクロチャネルによる造粒は界面張力を利用した自発的な液滴製造法である。装置の全体の概略図を図2.1.3に示す。



- ①平板型モジュール/②顕微鏡架台/③CCD カメラ/④X・Y 軸ステージ/⑤Z 軸ステージ/⑥分散相タンク/⑦連続相タンク/⑧加熱タンク
⑨ホットスタラー/⑩ノート型 PC/⑪恒温水槽

図 2.1.3 マイクロチャネル装置一式概略図

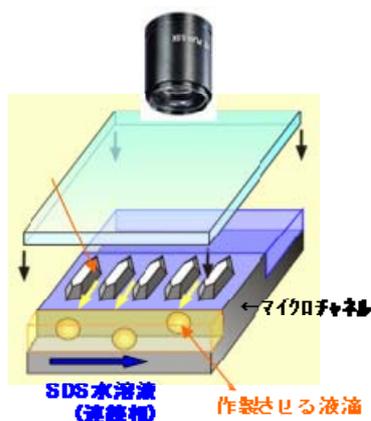


図 2.1.4 マイクロチャネル部模式図

図 2.1.4 には、マイクロチャネル部の模式図を示した。シリコーンがそれぞれの吐出口から液滴となって連続相中に吐出される。造粒時には図 2.1.5 のようなメカニズムで一定粒径の粒子が造粒される。

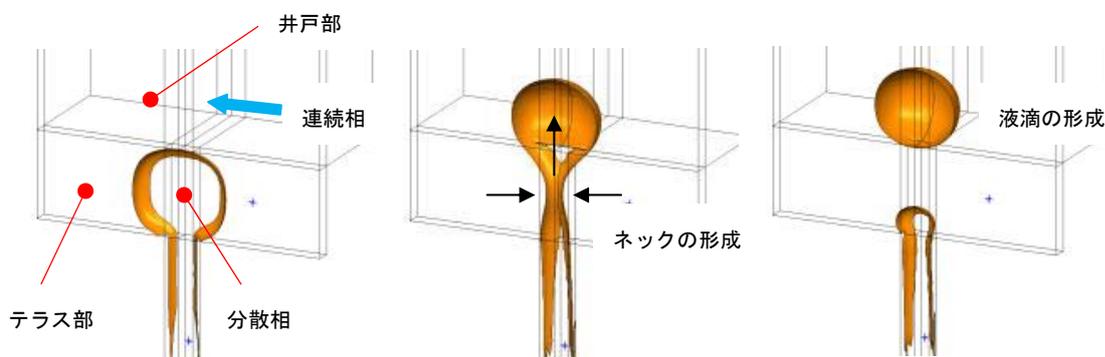


図 2.1.5 マイクロチャネル造粒メカニズム

分散相が吐出口より供給され、テラス部に分散相が侵入する。テラス部に存在する液が井戸部に到達すると、その界面張力により球形になろうとする力が働く。この時テラス部にたまっていた液が引っ張られ、ネックの形成後液が切れることで粒子となる。

検討の結果、連続相に SDS1%水溶液を使用することで、変動係数 5%以下の寸法精度で狙いの粒径のシリコーン粒子を製造することに成功した (図 2.1.6)。

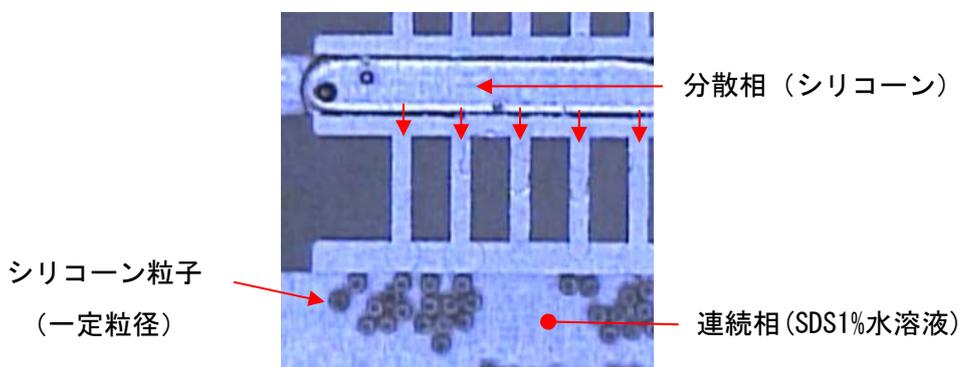


図 2.1.6 マイクロチャネルによるシリコーンの造粒 (480 μ m チャンネル)

<参考文献>

- 1) 山谷正明 (2011) 『シリコーン 広がる応用分野と技術動向 改訂版』 化学工業日報社
- 2) 小林功 (2006) 「マイクロチャネル乳化技術：単分散エマルジョンの作成と応用」 『日本食品化学工学会誌』 第 53 巻第 6 号、317-326 頁

2-2 ゴム球状粒子への金属皮膜形成技術確立

2-2-1 下地処理技術開発

目標：バレルスパッタ装置を導入し初期金属合金皮膜をPVDにより実施し、次工程の湿式メッキでの水分含浸防止と均質メッキ処理を可能にする。

当該目標を達成する為に考案された処理工程とその検討内容を以下に示す。

ゴム球状粒子へのスパッタ処理: 提供されたシリコン樹脂を主成分とするゴム球状粒子(以下ゴムボール)に対し、マグネトロンスパッタリング装置を用いて第1層目金属層としてCu薄膜をゴムボール表面に形成する処理を検討した。以下、実際に行ったスパッタ処理の処理工程を示す。

- A) 逆スパッタ工程: 加工バレル内の放電現象を利用し、ゴムボール表面に凹凸を付けることで、後に被覆させる金属皮膜との密着性を増加させるアンカー効果を付与する。
- B) RFスパッタ工程: 高周波電源・交流電流を適用して金属Cuをスパッタすることで、Cuクラスターに高いエネルギーを持たせながらゴムボール表面へ到達させ、金属皮膜とゴムボールとの密着性向上を狙う。
- C) DCスパッタ工程: 直流電流を適用して金属Cuをスパッタすることで、金属Cu皮膜を成長させる。

これら処理工程の後、湿式めっき処理を行う。この工程を通りうるスパッタ試料には以下に示す性質が必要であるとわかった。

- ① スパッタ後のゴムボールがめっき液よりも比重が重い。
- ② スパッタCu皮膜-ゴムボール間の密着性が強い。
- ③ スパッタ後のCu皮膜に大きな凹凸・破損が無い。
- ④ Cuスパッタの段階で金属皮膜の厚みは数ミクロン。

上記項目を満たすスパッタサンプルの作製を検討した結果を以下に示す。上記項目を満たさないスパッタ試料は、後述する湿式めっきを行うことができず、以降の工程に進むことができない。上記項目を満たしたスパッタ試料は、ゴムボールがある程度圧縮変形してもCu皮膜に大きな破壊は見られず、変形後の復元性も良好であり、後の湿式めっきに耐えうる状態であることが分かった。

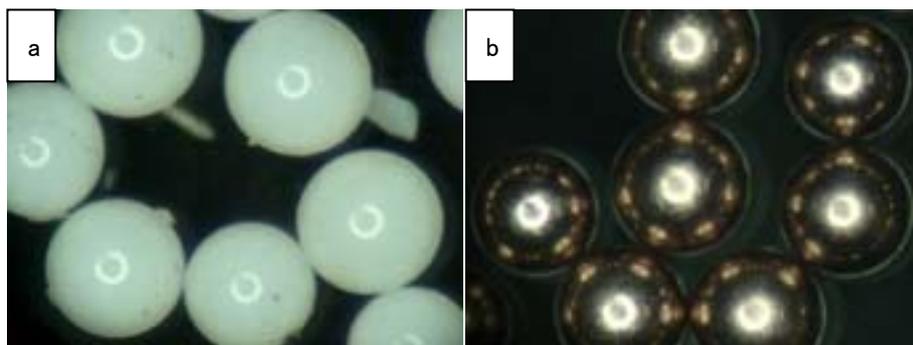


図 2.2.1 ゴムボール試料写真。a: 未処理ゴムボール b: Cu スパッタ後ゴムボール

表.2.2.1 スパッタ処理条件

工程	真空度(Pa)	Ar 流量 (sccm)	RF 出力 (W)	DC 出力 (kW)	DC 電圧 (V)	加工 時間 (分)	バレル内 最終温度 (°C)	投入サンプル	
								ゴム ボール	ガラス ボール
逆スパッタ	$3.114 \times e0$	20.0	300	-	-	15	24	比重狙い 2.25 260 μ m 分級品 2g	(0.4~0.6) 20g
RF スパッタ	7.703~ $8.317 \times e-1$	20.0	330	-	-	15	75		
DC スパッタ	7.762~ $8.254 \times e-1$	20.0	-	0.37	389	8	62		

2-2-2 機能性メッキ技術開発

目標:機能性メッキ技術開発:ゴム弾性の20%変形まで追従する弾性金属皮膜をメッキし、1,000回変形でも亀裂発生の無いゴムコア通電ボールを作製する。メッキ膜厚は銅が2-3 μ m、金が0.5-1 μ mで膜厚偏差10%以内、膜厚公差 \pm 10%を目標とする。

当該目標を達成する為に考案された処理工程とその検討内容を以下に示す。

スパッタ後の湿式めっき処理:上記スパッタ処理後試料に湿式めっきを適用し、金属Cu皮膜を成長させる。また、Cuの拡散を防ぐバリア金属層としてNiをCu皮膜上に作製する。バリア層形成後にAuめっきを行う。

実際に行っためっき処理工程を以下に示す。

- A) Cuめっき:シアン浴を使用した湿式Cuめっきを、傾斜バレルを使用してスパッタ後試料に行う。
- B) Niめっき:ワット浴を使用した湿式Niめっきを、傾斜バレルを使用して湿式Cuめっき後試料に行う。
- C) Auめっき:シアン浴を使用した湿式Auめっきを、傾斜バレルを使用して湿式Niめっき後試料に行う。

スパッタ試料が一連の湿式めっき工程を通るには以下の点に注意しなければならないことがわかった。

- ① めっき液の密度
- ② めっき液の温度
- ③ 傾斜バレルの回転数
- ④ 電流値

以上の点に留意して検討し、試料を最終工程まで進めた。この結果を図2-2-2から、またその条件を表2-2-2から示す。前項である2-2-1でスパッタ試料に必要な条件を記したが、これら条件を満たさない試料を使用した場合、あるいは上記注意点を考慮しなかった場合、シアン化Cuめっきの段階でゴムボール表面金属皮膜が剥離し、最悪の場合ゴムボールだけが回収されてしまう。スパッタ試料の条件とめっきの条件をどちらも満たした場合、各工程でゴムボールは全面を目標金属に被覆されており、ゴムボールへの金属被覆の可能性を証明することができた。しかし、最終工程を経た試料の内、いくつかの試料は金属皮膜が剥離してゴムボールのみの状態になっていた。また、目標金

属に完全に被覆された試料においても、その金属皮膜はゴムボールの圧縮変形によって破壊・剥離しやすく、当該目標として掲げられた数値を達成するには至らなかった。これら工程には改善の余地が大いに考えられ、今後の課題となる。

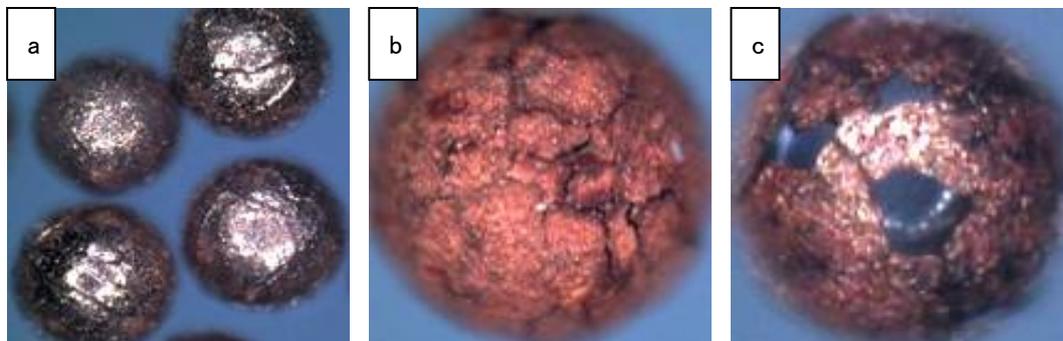


図 2. 2. 2. a:ゴムボールスパッタ試料、bおよびc:ゴムボールスパッタ試料シアン化銅めっき後の失敗例

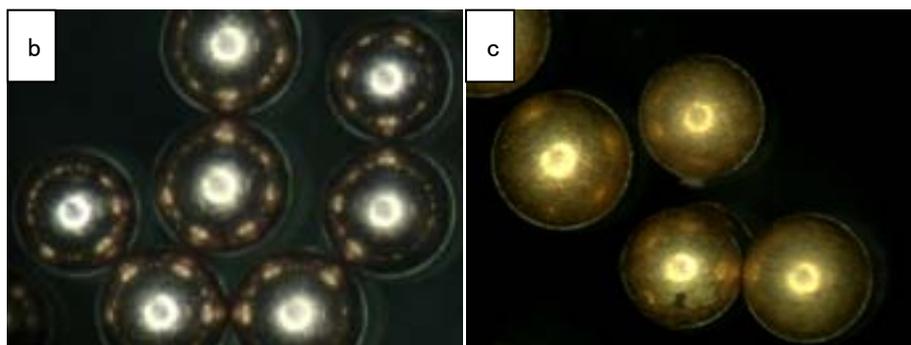


図 2. 2. 3 ゴムボール試料写真。b:Cu スパッタ後ゴムボール c:Au めっき後ゴムボール

表2. 2. 2 ゴムボールスパッタ試料への湿式めっき条件

工程名	電流値 (A)	めっき液温度 (°C)	バレル回転数 (rpm)	処理時間 (分)
シアン化 Cu めっき	1.0	35.0	4.0	40.0
ワット浴 Ni めっき	1.0	35.0	4.0	20.0
シアン化 Au めっき	0.5	35.0	4.0	7.0

2-3 ゴムコア通電ボール検査技術確立

2-3-1 変形挙動に関する調査

シリコンゴムボールに銅を成膜した粒子を用いた。50 個の粒子について直径を計測した。ゴムボールをコアとする粒子の平均直径は 251 μm 、ガラスをコアとする粒子の平均直径は 297 μm であった。以下の実験では、ゴムボールをコアとするサンプルを用いた。圧縮試験に用いた装置を図 2.3.1 に示す。ボールを平滑な面に設置し、2 枚のチタン製平板で押し込むことで圧縮を加えた。右側のチタン板は完全に固定し、左のチタン板の移動量を精密 X 軸ステージで制御した。また試験中の AE は、共振型 AE センサ (M304A, 富士セラミックス) を用いて検出し、Continuous Wave Memory (CWM) により記録・解析した。AE 計測はサンプリングレート 10MHz で行い、機械的振動によるノイズを避けるため 100kHz のハイパスフィルターをかけた。測定レンジは $\pm 5\text{ V}$ 、しきい値電圧は 10 mV とした。試験は単純圧縮試験と繰返し圧縮試験の 2 通りを行った。単純圧縮試験では、12.6 $\mu\text{m} / \text{s}$ の一定速度でボールを圧縮した。繰返し圧縮試験では、約 10, 20, 30, 40, 50 % の圧縮ひずみを 3 サイクルずつ、順番に加えた。試験中のボールの変形はビデオマイクロスコープ (VHX-600, キーエンス) で観察した。

単純圧縮試験では、ボールを 12.6 $\mu\text{m} / \text{s}$ の速度で、56%まで圧縮した。試験中のボールの変形を、ビデオマイクロスコープを用いて上方から観察した結果を図 2.3.2 に示す。ボールはひずみ 40 % まで破壊することなく変形した。圧縮ひずみが 43 % となったとき、ボールの銅膜に割れが発生し、その後ボール全体が崩壊した。除荷後の観察ではコア材まで砕けている様子が見られた。ビデオマイクロスコープから測定した圧縮ひずみの時間変化を図 2.3.3 に示す。試験中の AE 発生タイミングもまた図中に示した。合計 3 個の AE が計測され、そのときのひずみは 6.2, 34.4, 51.2 % であった。3 個の AE の振幅は同程度であった。上述の単一のサンプルによる圧縮試験では、ボールの裏側を観察できない。そこで 5 個のサンプルを用意し、それぞれ 10, 20, 30, 40, 50 % まで圧縮ひずみを加えて除荷した後に、ボールの両面から変形や割れの様子を観察した。まずマイクロスコープで上方から観察し、その後観察した面をテープに貼り付けて裏返すことで、裏側からの観察を行った。まずひずみ 10% において、銅膜の治具に接触する箇所が変形している様子が見られた。ひずみ 20 % では、その銅膜の変形が大きくなり、ひずみ 30 % でき裂が発生した。ひずみが 50%に達するとコア材が細かく割れ、ボール全体の形状が崩れた。また、圧縮ひずみ 10%を加えたボールの接触面では、銅膜の治具に接触している面ではしわ(凹凸)があり、塑性変形していることがわかった。

繰返し圧縮試験では、約 10, 20, 30, 40, 50 % の圧縮ひずみを 3 サイクルずつ、順番に加えた。試験中のボールの変形を図 2.3.4 に示す。前述の単純圧縮試験と同様に、ひずみ 30% の 1 サイクル目において、き裂の発生が観察された。またひずみが 50%に到達するとコア材が崩壊した。ビデオマイクロスコープから実測した圧縮ひずみの時間変化および AE 発生タイミングを図 2.3.5 に示す。き裂発生時刻もまた、図中に緑の丸で示した。AE はひずみ 10%を加えたときに 1 つと、き裂が観察された時刻とほぼ同時刻に 2 つの AE が計測された。AE

の振幅は約 10 % のひずみ加えたときに発生したものが最も高かった。

本試験で対象にしたゴムコアボールの変形・破壊挙動については以下のように推定された。ひずみが約 10%程度において、ゴムと銅膜の界面においてはく離が生じるものと推定される。その 30%のひずみが与えられると、銅膜の破壊が生ずる。さらにひずみが 50%程度に達すると、ゴム自体が破壊する。これらの挙動は、AE 計測結果および表面観察から確かめられた。またひずみ場の解析からも以上の変形・破壊挙動は妥当であると考えられる。

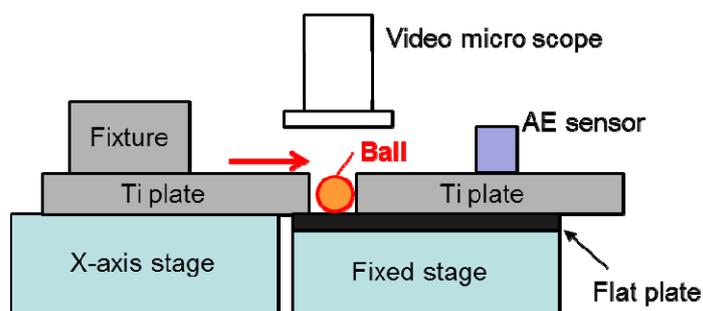


図 2. 3. 1 圧縮試験装置の構成

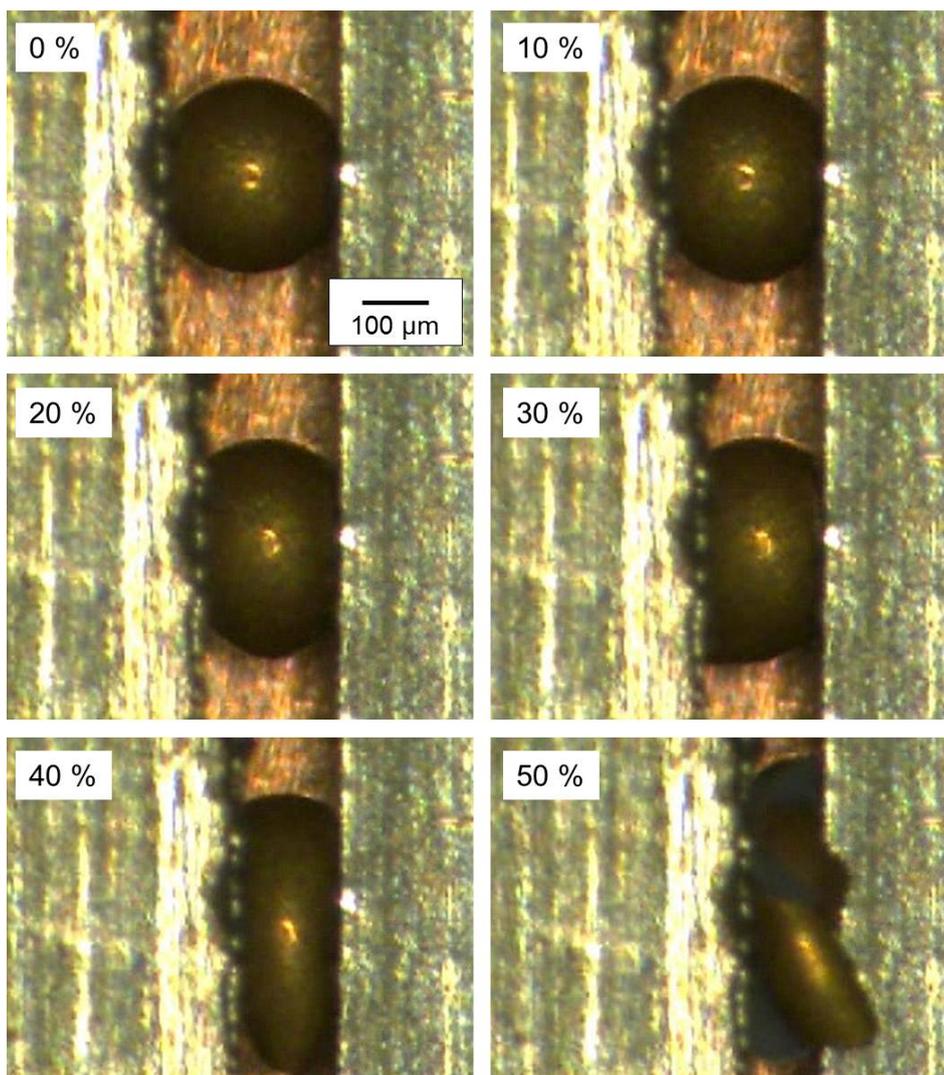


図 2.3.2 単純圧縮試験中のサンプルの変形

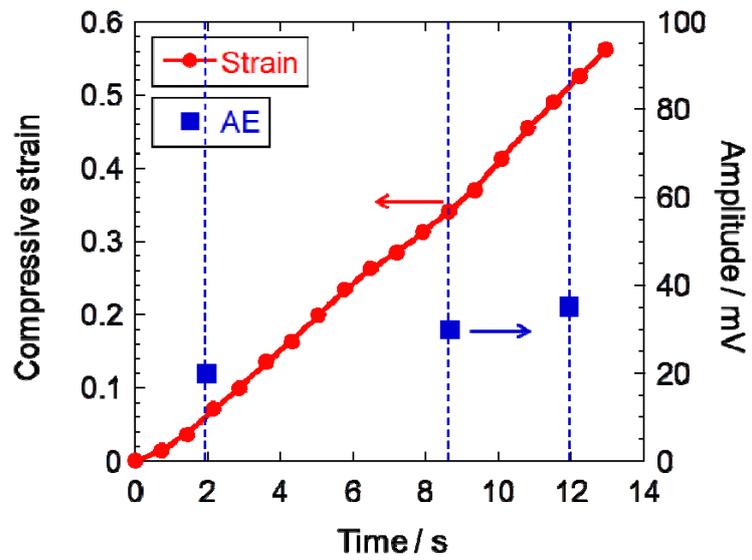


図 2.3.3 単純圧縮試験のひずみ時間曲線と AE 発生時刻

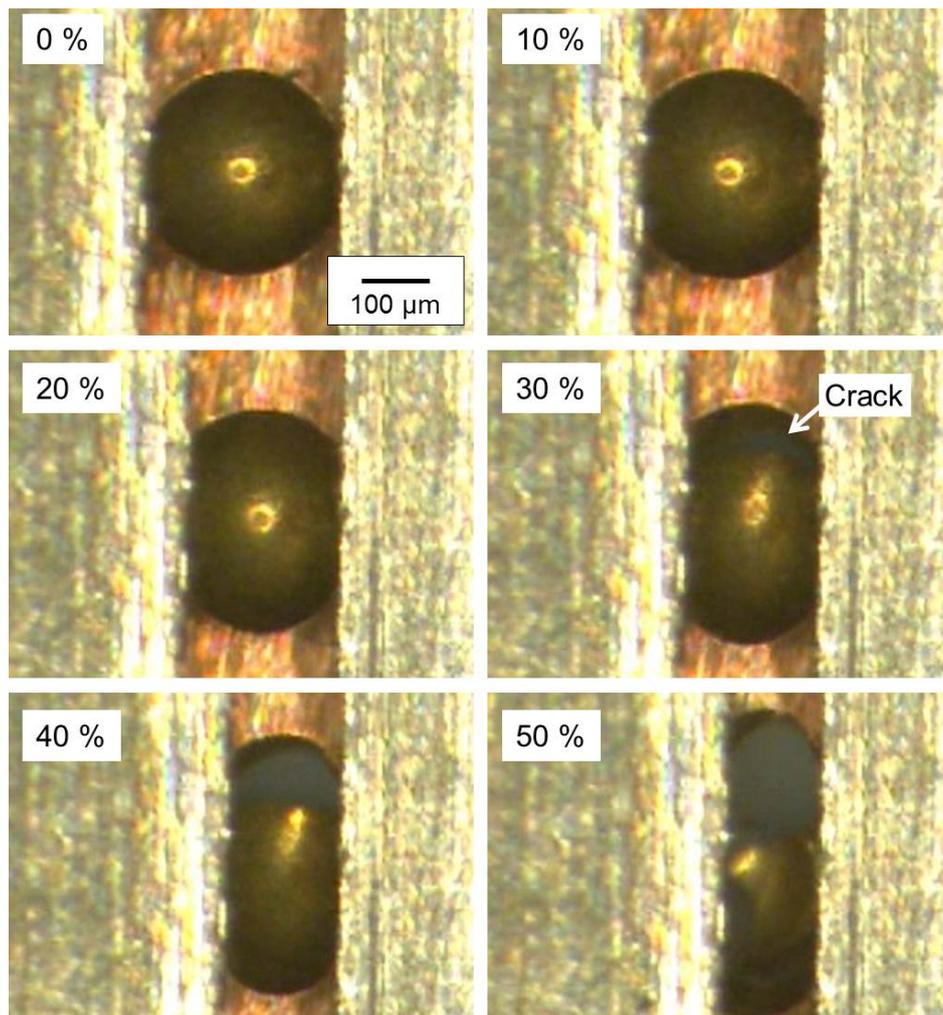


図 2.3.4 繰返し圧縮試験中のサンプルの変形 (各ひずみの 1 サイクル目)

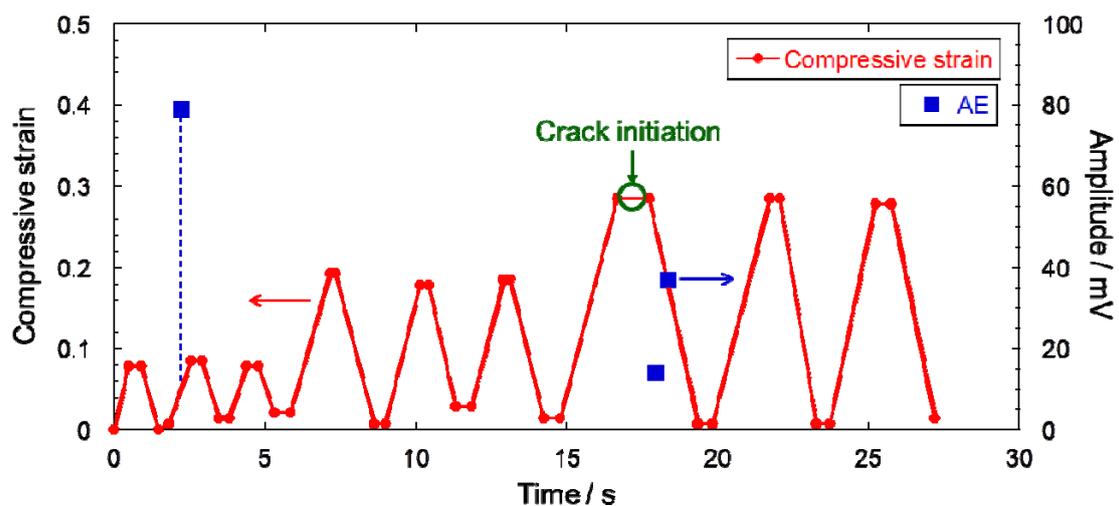


図 2.3.5 繰り返し圧縮試験のひずみ時間曲線と AE 発生時刻

ゴムボール/金属膜界面の観察は、現時点では極めて困難である。コーティング膜を剥がし、予備的な高分解能 STEM 観察を行った。図 2.3.6 に示すように極めて微細なレベルで、金属膜の品質・構造評価が可能であることが確認された。今後、実用化へ向けた疲労試験において、金属膜の劣化過程を微視的スケールで把握することで、より信頼性の高い製品開発が行うことが重要となる。

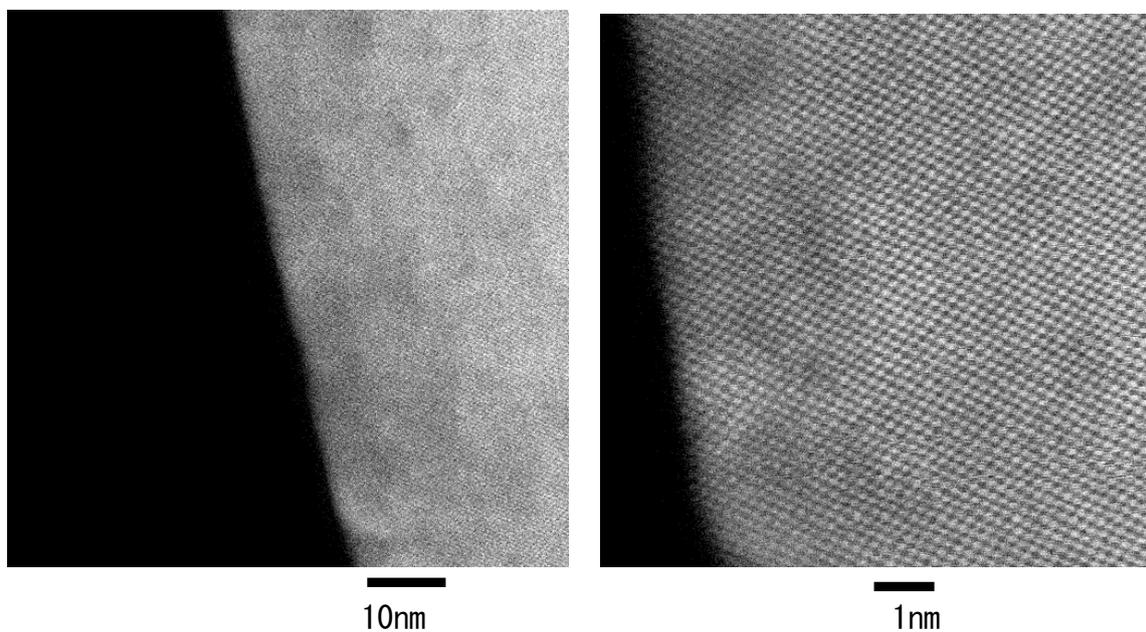


図 2.3.6 コーティング金属膜の高分解能 STEM 像

2-3-2 物性検査技術の開発

(1) 評価方法と評価内容について

製作狙い値 $290\mu\text{m}$ ボールを三次元測定機にて測定、外観確認をしサンプルボールと圧縮治具にて10%、20%圧縮しボールの寸法変化と外観変化を評価した。同圧縮治具を使用し荷重試験機にて弾性と抵抗値を評価した。この試験は100、1000、10000サイクルの段階評価とした。チャンバーにて雰囲気温度 150°C 環境でエージングしボールの変化を評価した。また、ユーザー企業にて荷重・抵抗試験を実施した。

(2) 圧縮試験

図 2.3.7 に示すような圧縮試験器具を用いて AL 受台と導通コマの距離差を 0.26mm と 0.23mm に調整し、押し板を100回受台まで押し切り前後のサンプルボールの状態を評価した。(n=各4)

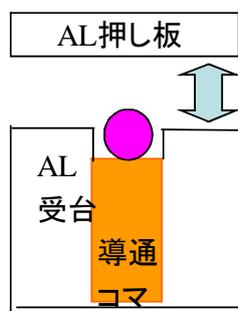


図 2.3.7 圧縮試験器具

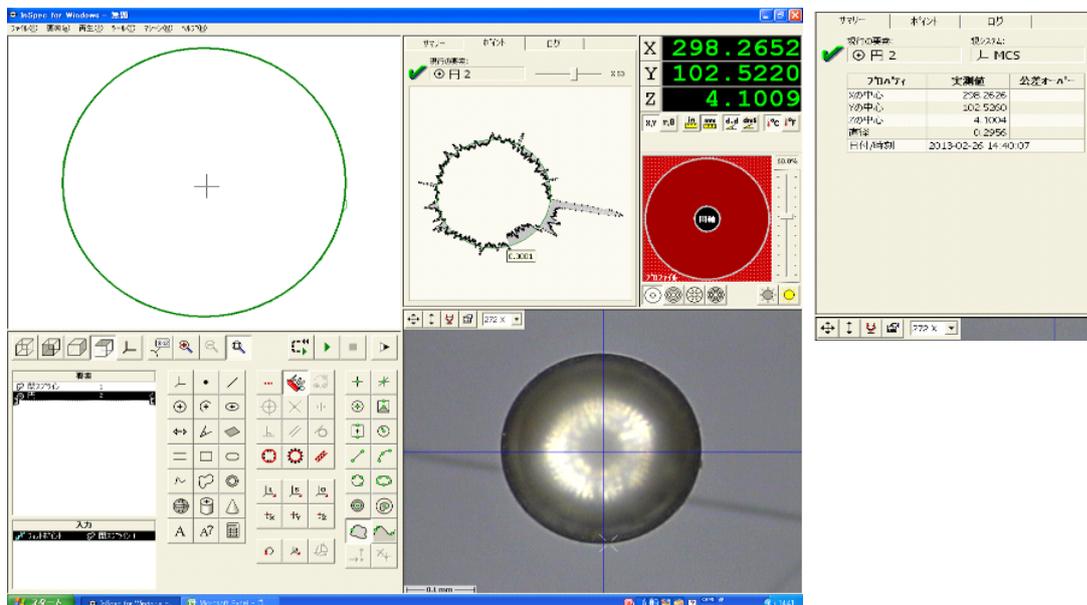


図 2.3.8 サンプルボール (MICRO-VU 社製三次元画像測定器 EXCEL4220 による測定結果)

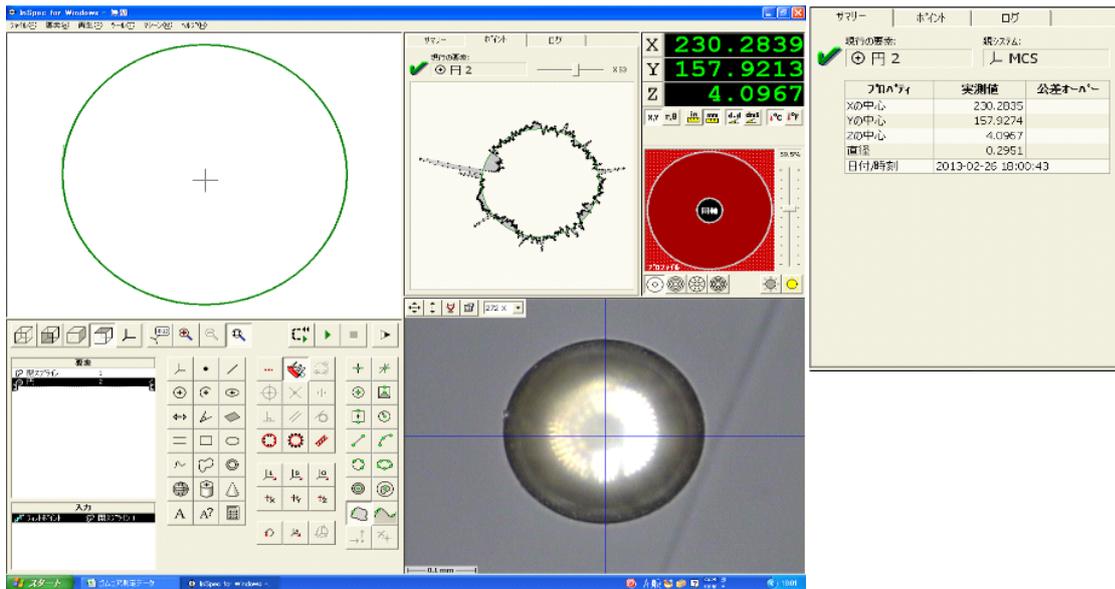


図 2.3.9 サンプルボール 10%圧縮後測定結果
特に形状変化は見られず金属皮膜の割れも観うけられなかった

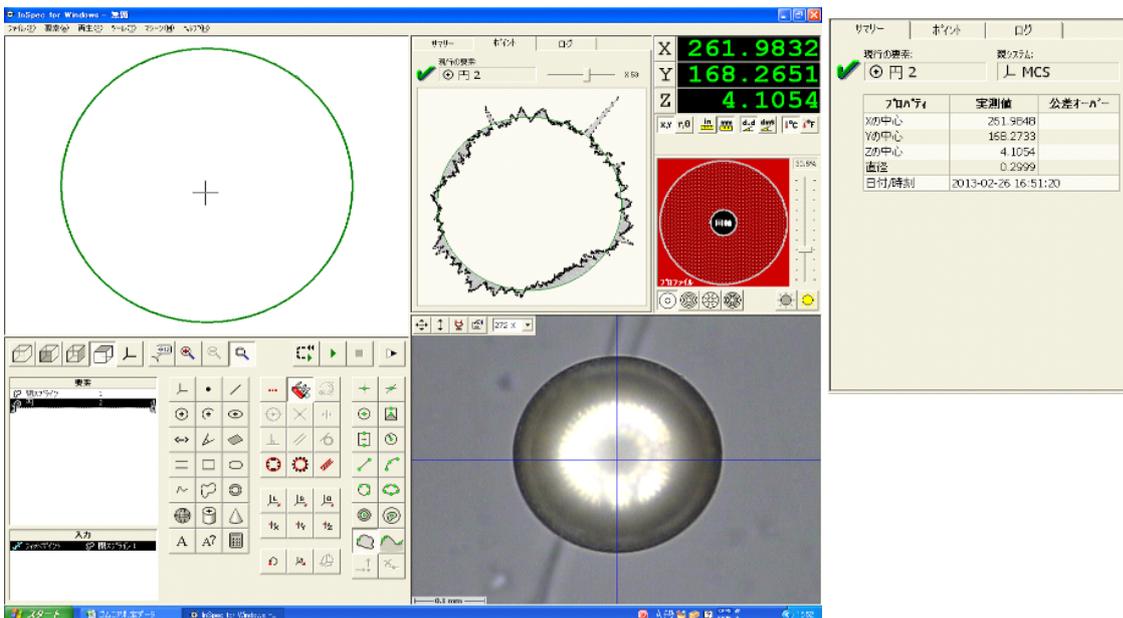


図 2.3.10 サンプルボール 20%圧縮後測定結果



図 2.3.11 サンプルボール 20%圧縮後の外観

図 2.3.11 に示すように 20%変形では金属皮膜に割れと剥がれが発生していた。この結果は 2-3-1 の変形挙動に関する調査の結果と一致した。

(3) 耐熱試験

チャンバー内にハロゲンフリーガラスエポキシ製の専用受け台に入れたサンプルボールを入れ、150℃の雰囲気温度にてエージングを行いサンプルボールを評価した。

時間設定は連続96時間とし、24時間ごとに状態を確認する。

耐熱試験サンプルボール

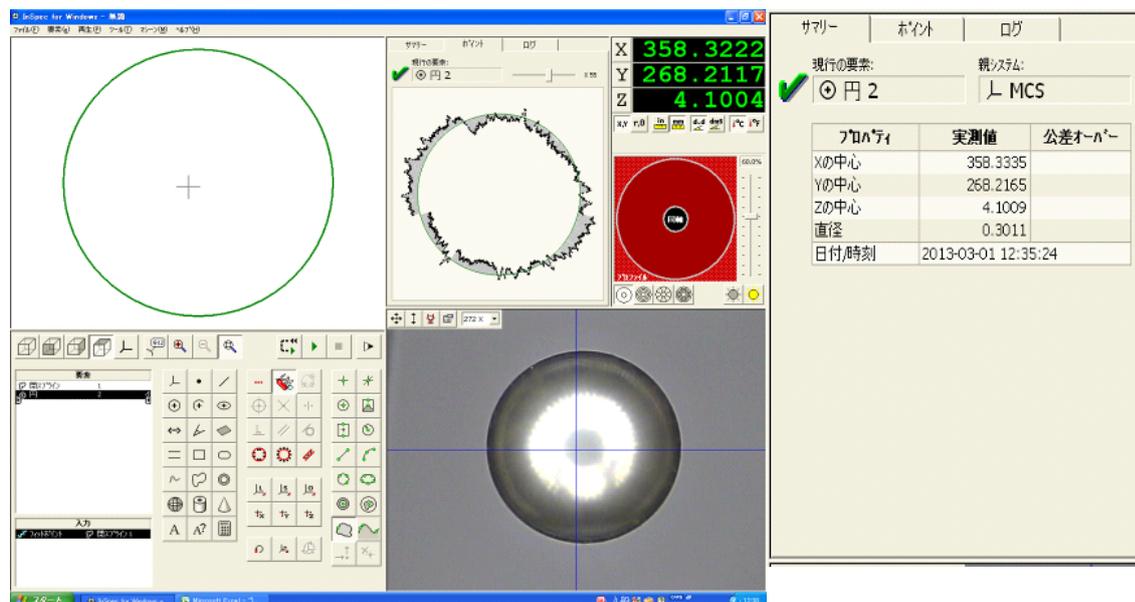


図 2.3.12 耐熱試験後サンプルボール測定結果 (150℃ 24h 経過)



図 2.3.13 耐熱試験後サンプルボール (右は左の金属皮膜を剥離したゴム部)

金属皮膜に割れ、剥がれ発生しており、金属皮膜を剥離して内部を観察すると、ゴムコアが割れていた。ゴムボールの耐熱性に課題があると推察される。

(4) 耐久・通電試験

荷重試験器 (日本計測システム MAX-1KN) と抵抗計 (HIOKI 3560) を接続して 100 サイクル間の荷重変化と抵抗値変化を測定した。

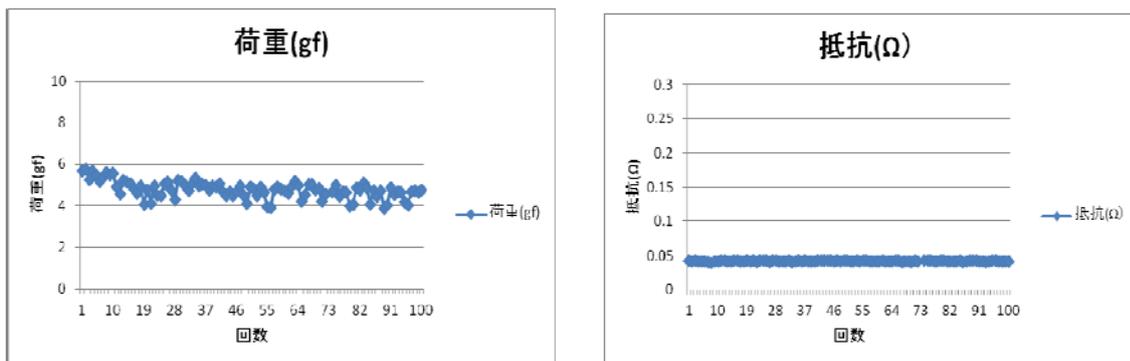


図 2.3.14 耐久・通电試験結果

荷重は多少ばらつくがおおむね数 gf の値で推移し、抵抗値は一定で推移した。

2-4 ゴムコア通电ボールを利用した電気接点部材の開発

図 2.4.1 に示す表面実装レベル TAB テープ電気接点部材として試作ゴムコア通电ボールが使われた。図中 21 の 6 の部分にゴムコア通电ボールがつかわれ、電子基板端子側のラウンド 13 と接触し通电される。

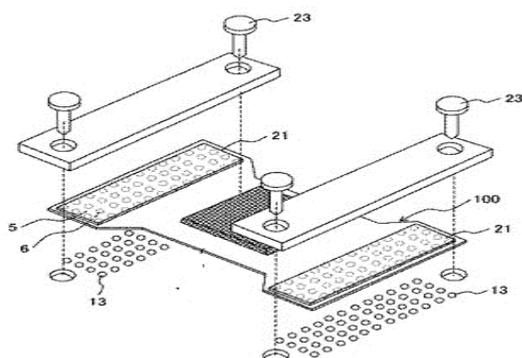


図 2.4.1 ゴムコア通电ボールを採用した表面実装レベル TAB テープ電気接点部材

上図の両端を接続してデータ転送速度を測定した。距離は 300mm(図中両端 21 と 21 の間)

図 2.4.2 は測定結果である。

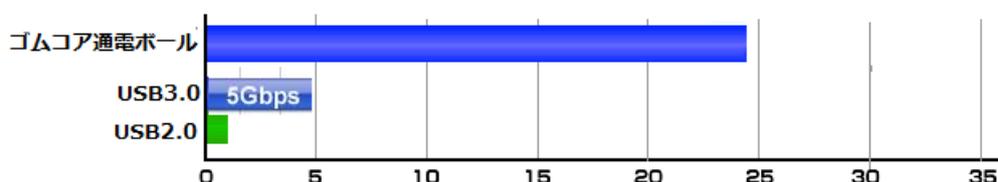


図 2.4.2 ゴムコア通电ボールを使用した TAB テープ端子間データ転送速度

USB2.0 は 500Mbps、USB3.0 は 5Gbps に対し、ゴムコア通电ボールの場合 24.8Gbps であり短距離ではあるものの光ファイバーケーブル並みのデータ転送率を記録した。

最終章 全体総括

サポイン事業により、平成 24 年 4 月 1 日から平成 25 年 3 月 15 日までゴムコア通電粒子におけるコア材料の開発を行った。コアに用いる主材料は、ゴム弾性と高耐熱性が必要であることから、ベース材料としてシリコンゴムを選択した。さらに、金属材料との複合材料になることから、これを金属に近い熱膨張率に近づけることを目的として検討を行った。その結果、より低熱膨張の材料を合成することに成功した。しかし、熱膨張率と弾性には二律背反の関係があり、それぞれを独立して制御するのは難しく、今後の課題として残る。

コアの形状に関しては、粒径のそろった球状のものが必要であるため、これを効率よく得るために、マイクロチャネルを用いた粒径制御を試みた。鋭意検討の結果、チャネルの設計や造粒系の検討により、単分散の粒子を得る事に成功した。

ゴム球状粒子への金属皮膜形成技術確立のテーマの中で①下地処理技術開発については、本事業で準備した PVD 装置で、逆スパッタ・RF スパッタを用いることにより、各種の金属（銅・白銅・銀・Pd）をゴム粒子へ皮膜形成することが出来た。湿式メッキでの水分含浸を抑えることができ、均質なメッキ処理が出来た。

②機能性メッキ技術開発については、ゴム粒子に銅スパッタを施し、その後湿式メッキで銅、ニッケル、金の皮膜を形成。変形率 10%ながら繰り返し 1000 回で亀裂のはいらない金属皮膜を形成するメッキ条件が確立出来た。

有限要素法によるひずみ解析、圧縮試験、繰り返し圧縮試験、マイクロインデンテーション試験および観察結果のゴムコアボールの変形および破壊挙動について検討し、以下の結論が得られた。ひずみ解析の結果からは、圧縮試験を行う場合は、治具との接触する端部の銅の部分において、大きな塑性ひずみが発生することが分かった。また、ゴムの径がひずみ分布に及ぼす効果は限定的であることが分かった。圧縮試験においては 10%程度のひずみを与えることにより、銅が変形することが分かった。30%程度のひずみによりき裂が発生することが分かった。これは AE の発生するタイミングおよび有限要素法によるひずみ解析の結果と対応していた。マイクロインデンテーション試験の結果から、変形力の負荷速度依存性があることが分かった。これはゴムの粘性に起因するものと考えられる。またこの方法を用いることにより、ゴムコアボールの硬さを定量的に評価できることが分かった。以上の解析方法および実験方法を用いることにより、ゴムコアボールの力学特性の評価が可能となった。この結果をサンプルの作製プロセスにフィードバックすることが期待される。

試作したゴムコア通電ボールを繰り返し変形を行ったところ、常温下での 10%変形使用には十分に対応できるボールは出来た。しかし、耐熱、安定性に課題は多く、更なる開発評価が必要である。

TAB テープ接続部材としての応用を検討し、ゴムコア通電ボールを組み込んだ接続端子システムのデータ転送速度は光ファイバーケーブル並みであり、ゴムコア通電ボールの優位性が確認できた。