X 線式はんだ付検査装置の開発*

浜田利満** 仲畑光蔵*** 伏見 智*** 森岡喜史† 西田武彦††

Automatic Solder Joint Inspection System by X-ray Imaging

Toshimitsu HAMADA, KOZO NAKAHATA, Satoru FUSHIMI,
Yoshifumi MORIOKA and Takehiko NISHIDA

This paper describes an automatic solder joint inspection system by X-ray imaging. The following were developed for highly reliable inspection of J-lead and gull-wing lead solder joints: (1) An automatic inspection method for double side-mounted PCBs (Printed Circuit Boards) by micro-focus X-ray imaging and board tilting, (2) Enhancement of X-ray image of solder joints by logarithmic transformation of a detected image, (3) Fillet judgement by comparison between a detected image and a number of typical nondefective images selected by a clustering procedure, (4) Bridge determination by multi-step thresholding and comparison between pattern frequency distribution of a detected image and that of a nondefective image. The inspection system developed with these technologies had a defect detection rate of 100% with the smallest detectable defect being 50 μm .

Key words: solder joints inspection, X-ray imaging, surface mounted devices

1. はじめに

プリント板の信頼性を確保するため、プリント板製造の各工程では不良品を次工程に流さないように、厳密な検査が行われている。はんだ付欠陥にははんだ不足のように電氣的導通検査では検出できず、使用中に破断に至るような潜在不良があるため、はんだ付後の外観検査は特に厳重に行われている。しかし、近年、QFJ (Quad Flat J-leaded Package) や SOJ (Small Outline J-leaded Package) の J リード (図 1 (a)) や, QFP (Quad Flat Package) や SOP (Small Outline Package) の ガルウィング リード (図 1 (b)) などの高密度な微細はんだ付部を有する表面実装部品、さらにこれらを両面に実装したプリント基板が普及してきた。本研究は J リードとガルウィング リードの高密度、微細なはんだ付部を対象に、両面実装基板にも適用可能なはんだ付自動検査技術を開発することを目的としている。

はんだ付部の自動検査方式は光学的検出方式と X

線撮像方式に大別できる。光学的検出方式としては、レーザではんだ付部を加熱し、その放射温度変化を赤外線検出するレーザ加熱・放射温度検出方式¹⁾、光を照射し、はんだ表面からの反射光の方向をもとに表面の傾斜角の状態を検出する反射光方向検出方式^{2)~7)}、光切断法によるはんだ付部のプロフィール検出方式⁸⁾⁹⁾ などがある。しかし、光学的検出方式では、検出方向が限定されるとともに、はんだ表面が鏡面状態に近いため、わずかな面の傾きで反射光量が大きく変化し、また表面の反射率もはんだ付条件やはんだ付後の経過時間により変化するため、高精度な検査は望めないと考えられる。また、筆者らは先に、エア加振・スペックル振動検出法と蛍光検出法を併用した方式を開発したが¹⁰⁾¹¹⁾、これはガルウィング リードを対象としたもので、J リードには適用できない。

Fig. 1 Surface mounted devices

* 原稿受付 平成 4 年 4 月 1 日

** 正 会 員 (株) 日立製作所生産技術研究所 (現, 同社営業本部; 東京都千代田区神田駿河台 4-6)

*** (株) 日立製作所生産技術研究所 (横浜市戸塚区吉田町 292)

† (株) 日立製作所旭工場 (尾張旭市晴丘町池上 1)

†† 日立電子(株) (小平市御幸町 32)

一方、X線撮像方式ははんだ付部の表面光沢の影響は受けず、はんだ付部の厚さ情報に対応した濃淡情報を得ることができ、さらに部品下にあるはんだ付部も検出できる特長がある。X線撮像方式のはんだ付検査としては、はんだ付部の透過X線画像を解析する方式¹²⁾、スキャンド・ビーム・ラミノグラフィ法により断層像を検出し、解析する方式¹³⁾が発表されている。しかし、これら2つの方式とも欠陥判定には、はんだ付欠陥のX線透過画像の特徴をあらかじめルールとして設定しておき、検出画像にこれらのルールに合致する部分が存在すれば、それを欠陥とするルールベーストな方式を用いている。一般にルールベーストな判定方式では欠陥に応じ複数のルールを設定する必要があり、特にはんだ付欠陥には多くの種類があるため、これらを確実に検出しようとする、ルールの規模が大きく、複雑になる。一方、検出画像を良品モデルと比較するモデルベーストな方式は良品との不一致を欠陥とするため、一般に欠陥の種類によらず、信頼性の高い検査が期待できる。しかし、良品はんだ付部のバリエーションは多岐にわたるため、従来、はんだ付検査にモデルベーストな判定方式を用いることは困難であった。

本研究では、基板傾斜による両面実装基板はんだ付部の検出法、X線画像対数変換によるはんだ付部の強調を開発するとともに、良品はんだ付部のバリエーションに対応できる複数の典型的良品画像の自動生成法、良品比較によるフィレット形状判定法、ブリッジ検出法などのモデルベーストな欠陥判定法を新たに開発した。以下、その内容について報告する。

2. はんだ付部のX線画像検出

2.1 両面実装基板はんだ付部の検出

片面実装基板ではX線源と検出器を結ぶ光軸に対し、図2(a)のように基板を傾斜せずに置くことにより、図2(b)のように各はんだ付部が分離した画像を検出できる。しかし、この方式では両面実装基板の表裏はんだ付部は重なって検出されるので、図3のように基板を光軸に対して傾斜させ、表裏はんだ付部をずらして検出する方式を新たに開発した。

X線撮像装置としては、分解能の高いマイクロフォーカスX線撮像装置を用いた。マイクロフォーカスX線撮像装置¹⁴⁾はX線源径数 μm のX線源を用い、X線源と検出器の間に対象を置き、その位置を変えることにより、幾何学的に数倍から数十倍に拡大して画像検出を行うものであり、分解能は拡大率とX線源径に依存するが、通常20~30 μm と高い。ま

Fig. 2 Single side-mounted PCB

Fig. 3 Double side-mounted PCB

Fig. 4 X-ray intensity of J-lead solder joint

た、対象を傾けて検出することもできる。このため、本研究ではマイクロフォーカスX線撮像装置を用い、基板を水平または傾斜した状態ではんだ付部を検出し、得られるX線透過画像を処理することにより欠陥判定を行う検査方式を採用した。

2.2 対数変換

はんだ付部のX線画像には、はんだ以外に部品のリードや、LSIチップを搭載したリードフレーム、部品モールド材、プリント板の基材や配線パターンなどが含まれる。これらのうちのはんだ、リード、リードフレーム以外はX線吸収係数が十分に小さく、あるいは厚さが小さく、はんだ像を検出するような硬X線領域では無視できる。したがって、X線画像でははんだおよびリード、リードフレームが検出される。図4にJリードはんだ付部のX線画像信号波形を示すが、リード立上がり部においてX線吸収が大きく、暗くなり、はんだ部においては、厚さに対応した濃淡階調が検出される。

ここで、はんだの厚みを t_1 、X線吸収係数を μ_1 、リードの厚みを t_2 、X線吸収係数を μ_2 とすれば、入射強度 I_0 のX線が透過したとき、その透過強度 I は

Fig. 5 Logarithmic transformation

次式で求められる。

$$I = I_0 \exp(-\mu_1 t_1 - \mu_2 t_2) \quad (1)$$

式(1)より、

$$t_1 = \ln I_0 / \mu_1 - (\mu_2 / \mu_1) t_2 - \ln I / \mu_1 \quad (2)$$

X線画像はこの透過X線強度 I を画像化したものである。検出X線画像 $I(x, y)$ を次式のように対数変換すると、

$$I_t(x, y) = C_1 + C_2 \ln(I(x, y)) \quad (3)$$

ここで、 C_1, C_2 は定数。

はんだ、リード、リードフレームの厚みに関する情報を画像 $I_t(x, y)$ から得ることができる。ここで、リード、リードフレームのX線吸収係数ははんだのX線吸収係数より小さいが、その厚みは大きいので(通常200 μm 程度)、検出画像でははんだ付部と同じく暗くなる。そこで、対数変換で暗く検出される部分を強調するが、はんだ付部をより強調するように、定数 C_1, C_2 を設定した。図5(a), (b)は基板傾斜なしのときの両面実装基板、(c), (d)は基板傾斜ありのときの両面実装基板について、式(3)の対数変換をした例であり、はんだ付部が顕在化されることが分かる。本研究では、検出したX線画像に対し、式(3)の対数変換処理を施した上で、以下の欠陥判定アルゴリズムを適用することにした。

3. 欠陥判定アルゴリズム

3.1 技術課題

検出すべきはんだ付欠陥の種類は、Jリードを例に図6に示すリード浮き、はんだ過剰、はんだ不足、吸い上がり、リードずれ、ブリッジなどのはんだ付欠陥である。これらの欠陥のうち、リード浮き、はんだ過剰、はんだ不足、吸い上がりなどは、フィレットと呼ばれるはんだ付部のスロープの形状から検出でき、目視検査ではリード立上がり部のヒールフィレットと、リード先端部のトウフィレットと呼ばれる2つのフィ

Fig. 6 Solder joint defects

Fig. 7 Variation of good solder joints

Fig. 8 Detected image of J-lead solder joints

レット形状を確実に検出するため、基板を様々な角度に傾斜しながらはんだ付部を観察している。しかし、図7に示すように、同じ良品でも部品の搭載位置やリード位置のばらつき、あるいははんだ供給量のばらつきのため、はんだフィレット形状は微妙に異なる。このような良品のバリエーションに影響されないフィレット形状判定法を開発することが第一の課題である。

第二の課題は、Jリード部品下のブリッジ検出におけるリードフレームの影響除去である。図8はJリードの検出X線画像を示すが、はんだ付部が部品下に存在するため、はんだ付部間にリードフレームが検出され、ブリッジとの識別が難しい。ブリッジとリードフレームを識別し、リードフレーム上のブリッジをも確実に検出する必要がある。また、ブリッジははんだ付欠陥のうち検出すべき欠陥寸法が最も小さい。本研究では、現在の製造プロセスにおいて発生しうる最小ブリッジ幅50 μm の検出を目標とした。

また、基板伸縮による寸法ばらつき、部品搭載誤差、検査装置の位置決め誤差により、検出視野内でははんだ付部の位置は異なる。このようなはんだ付位置の変化に影響されることのない判定法を開発する必要がある。

これらの課題を解決すべく、新たにはんだ付部の位置ばらつきに対応するためのはんだ付部の自動抽出処

Fig. 9 Extraction of soldering position

理と、その結果に基づく各はんだ付部における欠陥判定処理で構成する欠陥判定アルゴリズムを開発した。以下、開発した欠陥判定アルゴリズムについて述べる。

3.2 はんだ付部抽出

はんだ付部抽出は、はんだ厚さがはんだ付部の周辺において大きくなる（X線吸収が多い）ことに着目し、画像をリード並び（X軸）方向及びリード長手（Y軸）方向に加算した投影分布 $Px(y)$, $Py(x)$ を用いる。すなわち、 $Px(y)$, $Py(x)$ は

$$Px(y) = \sum_x I_i(x, y) \quad (4)$$

$$Py(x) = \sum_y I_i(x, y) \quad (5)$$

と求まる。そして、 $Px(y)$, $Py(x)$ の最大値と最小値からしきい値 Th_x , Th_y を式 (6), (7) より求め、 Th_x , Th_y と $Px(y)$, $Py(x)$ との交点位置からはんだ付部の位置を求める。

$$Th_x = \alpha_x \text{MAX}_y(Px(y)) + (1 - \alpha_x) \text{MIN}_y(Px(y)) \quad (6)$$

$$Th_y = \alpha_y \text{MAX}_x(Py(x)) + (1 - \alpha_y) \text{MIN}_x(Py(x)) \quad (7)$$

ここで、 α_x , α_y は定数。

図9は両面実装基板傾斜時の処理例であり、投影分布としきい値との交点より表裏一対のはんだ付部の位置を検出し、それを2分することにより、表と裏を分離している。

3.3 欠陥判定処理

欠陥判定としてはフィレット判定、ブリッジ判定、リードずれ判定、はんだ量判定の4つの処理を行う。図10はJリードにおける両面実装基板の欠陥判定であり、基板傾斜ありの画像において、(a) フィレット判定、(b) はんだ量判定、基板傾斜なしの画像において、(c) ブリッジ判定、(d) リードずれ判定を行う。なお、(a), (b), (c), (d) に示すウィンドウは、はんだ付部抽出結果をもとに設定する判定処理領域を表して

Fig. 10 Defect judgement

いる。また、はんだ付欠陥は基本的にはフィレット形状不良、ブリッジ、リードずれであるが、はんだ量をはんだ付プロセスの品質管理に用いることが多いので、本研究でもこれら4つの判定処理を実施する。なお、片面実装基板の場合、基板傾斜なしの状態では画像検出し、これら4つの判定を行っている。以下、これらの処理の具体的内容を述べる。

3.3.1 フィレット判定

フィレット形状の判定は、ヒールフィレットとトウフィレットを検出するため、抽出したはんだ付部のY方向の画像信号（フィレット波形と呼ぶ）を用いて行う。本研究でははんだ付部の種類、寸法の変化に対しアルゴリズムを変更することなく、信頼性の高いフィレット判定を行うため、検出フィレット波形を良品フィレット波形と比較するモデルベーストな方式を開発した。しかし、前述のように良品はんだ付部には種々のバリエーションが存在するが、それに対応するため以下の処理を行う。

複数（ K 個）の典型的フィレット波形（基準波形） $Z_j(y)$ ($j=1, 2, \dots, K$) を記憶しておき、それらと検出フィレット波形 $F(y)$ との差を求め、得られた結果のうち最小となった差を欠陥判定評価値 S とした。すなわち、

$$S = \text{MIN}_j \left(\sum_y |F(y) - Z_j(y)| \right) \quad (8)$$

ここで、いかに良品のバリエーションに対応した基準波形を設定できるかが課題となる。本研究では、図11に示すように多数の良品はんだ付部の画像信号（良品波形）に対しクラスタリング処理を行い、代表的な良品波形を自動抽出し、それらを基準波形とした。クラスタリング処理は形状が類似しているものをまとめ、それらの典型的形状を生成する処理であり、以下のK平均アルゴリズム¹⁵⁾を用いた。

K平均アルゴリズム : n 個の良品波形を K 個のク

Fig. 11 Fillet judgement

ラスに分けるとして、次の処理を行う。

ステップ1： K 個の初期クラスタ中心 $Z_{j,1}$ ($j=1, 2, \dots, K$) として、良品波形 X_i ($i=1, 2, \dots, n$) より K 個を適当に選ぶ。

ステップ2： X_i を $Z_{j,k}$ ($k=1, 2, \dots$) と比較して、最も類似する $Z_{j,k}$ を探索し、 n 個の良品波形 X_i を K 個のクラスに分ける。

ステップ3： $Z_{j,k}$ に属したすべての X_i とクラスタ中心の差の総和が最小になるよう、次式の演算を行い、クラスタ中心を $Z_{j,k+1}$ に変更する。

$$Z_{j,k+1}(y) = \left(\sum_{X_i \in Z_{j,k}} X_i(y) \right) / N_j$$

ここで、 N_j ： $Z_{j,k}$ に属した X_i の数

ステップ4：すべての j について、 $Z_{j,k+1} = Z_{j,k}$ が成立するまで、ステップ2へ戻る。成立したならば、 $Z_{j,k}$ を良品基準波形とする。

はんだ付部の良品バリエーションは多岐にわたるが、このように良品基準波形の選定は単に多数の良品波形を収集することにより、容易に行うことができる。

3.3.2 ブリッジ判定

J リード部品はんだ付部では、リードフレームがはんだ付部に検出されるため、これをブリッジと区別する必要がある。リードフレームは片面実装基板では1枚しか存在しないが、両面実装基板では表と裏で2枚が重なりあって存在する。そのため表と裏における部品のわずかな搭載ずれなどにより、リードフレームの存在は1枚のみである部分と2枚重なる部分がある。このようなリードフレームの有無、重なりに影響されることなく、確実にブリッジを検出するため、以下に述べる3つのしきい値で得られる情報と良品情報を比較する判定法を新たに開発した。図12に示すようにリードフレームの影響がない部分に存在するブリッジを検出するしきい値 V_{th1} 、1枚のリードフ

Fig. 12 Bridge judgement

レーム上に存在するブリッジを検出するしきい値 V_{th2} 、2枚のリードフレーム上に存在するブリッジを検出するしきい値 V_{th3} の3つのしきい値を用いて、次式により3種類の2値画像 $P_{B1}(x, y)$ 、 $P_{B2}(x, y)$ 、 $P_{B3}(x, y)$ を求める。

$$P_{Bi}(x, y) = \begin{cases} 1; & \text{if } I_i(x, y) \geq V_{thi} \\ 0; & \text{else} \end{cases} \quad (i=1, 2, 3) \quad (9)$$

2値画像 $P_{B3}(x, y)$ にはブリッジだけが検出されるが、2値画像 $P_{B1}(x, y)$ にはブリッジばかりでなく、リードフレームもパターンとして検出され、2値画像 $P_{B2}(x, y)$ にはブリッジと2枚のリードフレームが重なった部分がパターンとして検出される。しかし、これらのリードフレームパターンは良品においても常に検出される。そこで、 Y 方向に2値パターンの発生頻度の X 方向の分布（パターン度数分布と呼ぶ） $P_{fi}(x)$ ($i=1, 2, 3$) を、 $P_{fi}(x)=0$ を初期値とし、処理領域内において、

$$P_{fi}(x) = P_{fi}(x) + 1; \text{ if } P_{Bi}(x, y) \neq P_{Bi}(x, y+1) \quad (10)$$

の処理を行うことにより求める。そして、図12に示すように、3つの2値画像で求めたパターン度数分布と良品のパターン度数分布 $P_{fi,0}(x)$ を比較し、次式の欠陥評価関数 $R_{fi}(x)$ を求める。

$$R_{fi}(x) = |P_{fi}(x) - P_{fi,0}(x)| \quad (i=1, 2, 3) \quad (11)$$

$R_{fi}(x)$ は2つの分布の差異を表し、ブリッジが存在する位置で値を持つ。そこで、本研究では、2つの分布の位置ずれを考慮し、 $R_{fi}(x) \neq 0$ が1画素（実験では $\Delta=2$ とした）連続するとき、ブリッジ欠陥とした。

3.3.3 リードずれ判定

リードずれ判定には、筆者らが先に蛍光検出法によるはんだ付検査で開発した、2値画像の Y 方向の投影波形を用いる方式¹⁰⁾を採用した。図13に示すよう

Fig. 13 Mis-alignment judgement

Fig. 14 Automatic inspection system

Fig. 15 System constitution

に、パッド間の投影波形よりしきい値 Th 以上となる幅 Wd をリードずれ量として検出する。

3.3.4 はんだ量判定

はんだ量ははんだ付部において、はんだ厚さ h を積分することにより求めることができる。リード、リードフレームの形状は部品ごとにはほぼ同一形状をしているので、対数変換した画像 $I_i(x, y)$ のはんだ付部における積分値に基づき、はんだ量を判定する方式を開発した。

4. 検査装置とその性能

以上の検討をもとに開発した検査装置の外観、構成を図 14, 図 15 に、装置仕様を表 1 に示す。画素サイ

Table 1 System specification

Item	Specification
Lead types	J-lead, Gull-wing lead
Package	Single-side mounted Double-side mounted
Pixel size	20-40 μm
Inspection time	0.5 s/field (10.24 mm^2)
Board size	350 $\times$ 500 mm

ズを 30 μm とし、QFJ を片面及び両面実装した基板、QFP を片面実装した基板を用い、製品サンプルによる評価実験を行った。その結果、はんだ付点数 762 000 点、欠陥点数 65 点に対し、欠陥検出率（欠陥を欠陥として検出した数/真の欠陥数）100%，虚報率（良品を欠陥として検出した数/良品数）0.15% の高い検査性能を達成した。なお、虚報は良品と欠陥の境界領域にあるもの、はんだ量が少ないが現状では欠陥としない（修正しない）ものなどであり、特に問題となる虚報はなかった。また、1 視野 (10.24 mm^2) あたりの検査時間は 0.49 s であった。さらに模擬欠陥による評価実験を行った結果、はんだブリッジにおける最小検出欠陥 50 μm ，リードずれ最小検出寸法 100 μm ，再現性 1 画素以内 ($\pm 15 \mu\text{m}$) を達成した。

5. おわりに

X 線を撮像手段とするはんだ付検査を実現するため、(1) マイクロフォーカス X 線撮像装置と基板傾斜による両面実装基板はんだ付部の検出、(2) 対数変換によるはんだ付部の強調、(3) クラスタリングにより選定した複数の典型的良品はんだ付部のフィレット波形と検出フィレット波形との比較によるフィレット形状判定法、(4) 多段しきい値とパターン度数分布の良品比較によるブリッジ判定法を開発した。また、これらの技術をもとに自動検査装置を実現し、評価実験の結果、欠陥検出率 100%，最小検出欠陥 50 μm を達成し、その有効性を確認した。

最後に、本研究について貴重なご助言を賜りました千葉工業大学小林勝教授、(株)日立製作所生産技術研究所中川泰夫氏、旭工場吉良貞靖氏、神奈川工場柄崎晃一氏、生産技術部野末実信氏、装置製作にご協力頂いた日立電子(株)の各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) R. Vanzetti and A. Traub: Automated Laser Inspection of Solder Joints, Proc. of ISTFA (1981) 85.
- 2) D. Capson and Sai-Kit Eng: A Tired Color Illumination Approach for Visual Inspection of Solder Joints,

- Proc. Vision '86, (1986) 3. 57.
- 3) P. J. Besl, E. J. Delp and R. C. Jain : Automatic Visual Inspection of Solder Joints, IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, (1985) 467.
 - 4) 村岡建樹：SMTにおけるレーザ光線を応用したはんだ付外観検査装置の原理及び仕様紹介，精密工学会「ハンダ目視検査の自動化技術」講演会，(1988) 21.
 - 5) 小林茂樹：色彩照明を用いたソルダージョイント検査，精密工学会誌，56, 8 (1990) 1375.
 - 6) S. Nayar, A. Sanderson, L. Weiss and D. Simon : Specular Surface Inspection Using Structured High-light and Gaussian Imagings, IEEE Trans. on Robotics and Automation, 6, 2, (1990) 208.
 - 7) 高木祐治，武安清雄：段差照明によるSMDはんだ付部外観検査技術の開発，精密工学会「外観検査の自動化」ワークショップ，(1988) 15.
 - 8) Y. Nakagawa : Automatic Visual Inspection of Printed Circuit Boards, Proc. SPIE, Vol. 336, Robot Vision, (1982) 121.
 - 9) 中川泰夫，押田良忠，二宮隆典，佐々木秀昭：スポット光走査方式光切断法によるはんだ付け部の形状検出，計測自動制御学会論文集，22, 9 (1986) 982.
 - 10) 広井高志，中川泰夫，吉村和士，浜田利満，柄崎晃一，美尾恵己：スペックル振動検出，蛍光検出によるはんだ付部の自動外観検査，第27回計測自動制御学会学術講演会，(1988) 507.
 - 11) 広井高志，吉村和士，浜田利満，二宮隆典，中川泰夫，美尾恵己，佐々木秀昭：エア加振，スペックル振動検出法によるはんだ付部検査方式の開発，電気学会論文誌C，112, 2 (1992) 125.
 - 12) M. Juha : Why X-Ray Inspection for Solder Quality Must be Automated, Tech. Paper Soc. Manufacturing Engs., No. EE-86-305, (1986) 17.
 - 13) J. Adams : A New Technique for Meeting MIL-DOD-2000 Solder Quality Standard, Proc. NEPCON EAST Conf., (1989) 714.
 - 14) 西田武彦：マイクロフォーカスX線応用システム，電子材料，10 (1991) 134.
 - 15) 長尾 真：画像認識論，コロナ社，(1983) 120.

傾斜機能材料実用化研究推進

末踏科学技術協会（SNTT，理事長・斎藤進六氏）は科学技術庁の委託を受けて，傾斜構造形成による機能変換材料の開発に関する調査に乗り出すことになった。

傾斜機能材料（FGM）は裏表があり，しかも素材間の境界（界面）がないように組織が滑らかに変化（傾斜）する全く新しい概念を持つ材料で，その応用分野は広く，航空宇宙用の構造材料としての適用をはじめ，電気，化学，光学，生体などの分野の機能材料としての適用が期待されている。

科技庁が5年間にわたって進めてきた傾斜機能材料についての基盤技術研究プロジェクトの成果に立って，いよいよ実用化の第一歩が今回の末踏科学での調査事業によってスタートする。

実際の作業にあたるのは末踏科学技術協会の傾斜機能材料研究会である。同研究会ではクリーンエネルギーの開発が急務となってきたのに対応，FGMの概念を適応した高性能，高効率のエネルギー変換材料の実用化にターゲットを置いて，その実現を目指す。今回の調査は，これまでの超耐熱FGMの基盤的研究成果をより広い分野に適用し，耐熱構造材料も含む高性能のエネルギー変換材料の実現を目指すための第一歩となるものである。科学振興調整費を用いて行う。

調査の項目・概要は，①傾斜ポテンシャル設計理論の研究動向調査，②エネルギー機能変換技術に関する研究動向調査，③素子形成技術に関する研究動向調査，

④エネルギー変換材料の特性評価に関する研究動向調査——などの内容を予定している。

エネルギー機能変換技術に関する研究動向調査では各種のエネルギー変換（光電変換技術，熱電変換技術，核熱変換技術など）の形態を調査するとともに，素子を形成するためのプロセス技術および有効なエネルギー移送技術についての研究動向を調査する予定である。素子形成技術では，素子，電極，基板間接合や表面保護傾斜コーティングなどの調査を通して，高効率エネルギー変換を維持するための耐久性，耐環境性付与技術についての動向，方法論を調べる。

これらを通して傾斜構造による革新的なエネルギー変換材料の提唱を行っていく。たとえば，エネルギー変換素子（傾斜構造）を用いたマルチテクスチャ構造の太陽電池が実現すれば現行レベルの2倍，3倍の高効率の電池が作れる見込みである。

近く大学，国の研究機関，民間からなる研究会のメンバーの確定を終え，本格的活動に入る。

科技庁のプロジェクトは1987年から科学技術振興調整費によって第1期3年，第2期2年の5年間にわたって「熱応力緩和のための傾斜機能材料開発の基盤技術に関する研究」のテーマで，産学官の協力体制で進められ，30 cm角という世界最大の材料の試作などで成果を上げてきた。（服部 敏夫）