

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-58983  
(P2011-58983A)

(43) 公開日 平成23年3月24日(2011.3.24)

(51) Int.Cl.  
G01N 23/04 (2006.01)

F I  
G O I N 23/04

テーマコード(参考)  
2 G O O 1

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2009-209924 (P2009-209924)  
(22) 出願日 平成21年9月11日(2009.9.11)

(71) 出願人 000005108  
株式会社日立製作所  
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号  
(74) 代理人 100100310  
弁理士 井上 学  
(74) 代理人 100098660  
弁理士 戸田 裕二  
(72) 発明者 額賀 淳  
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号  
株式会社日立製作所  
エネルギー・環境システム研究所内  
(72) 発明者 名雲 靖  
茨城県日立市大みか町七丁目2番1号  
株式会社日立製作所  
エネルギー・環境システム研究所内  
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】放射線断層撮影装置の撮影方法

(57) 【要約】

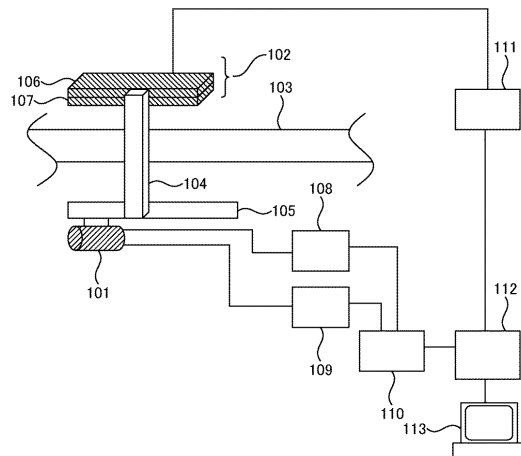
【課題】本発明の目的は、現地プラント配管を撮影する際に、配管周囲が狭隘な状況においても、装置の動作範囲を小さくしつつ、広範囲の投影データを取得し、配管内部の微小欠陥などを画像化できる高画質な断層画像を作成することにある。

【解決手段】本発明は、放射線源と、検査対象物の着目点、さらに放射線検出器とを結ぶ直線と、放射線源から放射線検出器の検出面に対しておろした垂線とが為す投影角度は、再構成領域の両端が中央よりも小さいことを特徴とする。

【効果】本発明によれば、現地プラント配管を撮影する際に、配管周囲が狭隘な状況においても、装置の動作範囲を小さくしつつ、広範囲の投影データを取得し、配管内部の微小欠陥などを画像化できる高画質な断層画像を作成できる。

【選択図】 図1

図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

検査対象物に放射線を照射する放射線源と、前記検査対象物に照射された放射線を検出する放射線検出器と、前記放射線源と前記放射線検出器とを固定する支持部材と、該支持部材を介して前記放射線源を前記検査対象物に沿った任意の方向に並進走査させる移動機構と、前記放射線検出器が取得した透過データから前記検査対象物の断層像もしくは立体像を構築する中央制御部を備えた放射線断層撮影装置の撮影方法において、

前記放射線源と、前記検査対象物の着目点、さらに前記放射線検出器とを結ぶ直線と、前記放射線源から前記放射線検出器の検出面に対しておろした垂線とが為す投影角度は、画像再構成領域の両端が中央よりも小さいことを特徴とする放射線断層撮影装置の撮影方法。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 記載の放射線断層撮影装置の撮影方法において、

画像再構成領域の両端での投影角度を少なくとも  $40^\circ$  以上とすることを特徴とする放射線断層撮影装置の撮影方法。

## 【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 記載の放射線断層撮影装置の撮影方法において、

放射線源の並進範囲を該放射線源と放射線検出器、検査対象物の相対位置および並進範囲端部で必要とする投影角度により算出することを特徴とする放射線断層撮影装置の撮影方法。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、放射線断層撮影装置の撮影方法に関する。特に、本発明は、検査対象物である配管の周囲の約半周乃至全周の方向からの実投影データ取得が困難な場合において、一部方向からの投影データを用いて配管の断層画像を再構成する放射線断層撮影装置の撮影方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

放射線を用いた非破壊検査システムまたは検査方法の一つに、コンピュータ断層撮影方法（CT）がある。CTとは、X線やガンマ線などの放射線を用いて、検査対象物の内部構造を非破壊で撮影する方法である。一般的な非破壊検査用CT装置は、X線発生装置および放射線検出器を固定し、それらの間に検査対象物を配置する。この検査対象物は、回転円盤上に設置されており、 $180^\circ$ に放射線の広がり角度（以下ファンビーム角度）を加えた角度だけ回転させる。一般的には、検査対象物は $360^\circ$ 回転させる。そして、このCT装置は、検査対象物の全周囲方向から複数の透過画像を撮影し、画像再構成演算により検査対象物内部の断層画像または三次元画像を得る。この画像を用いて、検査対象物内部の欠陥や異常の有無とそのレベルを目視または画像処理等により判定する。

30

## 【0003】

特に断層画像を再構成するために重要な画像再構成演算手法には、医療用CT装置で広く用いられているフィルタ補正逆投影法（以下、「FBP法」）を用いることが一般的である。FBP法は、例えば非特許文献1に示すようなCTや画像再構成に関し、従来知られている一般的な方法である。この方法は、最低 $180^\circ$ +放射線ファンビーム角度、乃至は一般的には $360^\circ$ の角度方向から実際に撮影された複数の投影データ（以下、「完全投影データ」）に基づいて断層画像を再構成する方法である。

40

## 【0004】

なお、完全投影データの取得が困難な場合、一部方向からの複数の投影データ（以下、「不完全投影データ」）を用いた画像再構成手法を適用可能である。不完全投影データによる画像再構成手法の一例に、非特許文献2に示す方法がある。非特許文献2の方法は、参照画像から対象画像のトポロジー（領域数や領域間の連結性）を予測して対象画像のモ

50

デルを作成し、モデルを変形して不完全な投影データから高画質の画像を再構成する方法である。

【0005】

また、特許文献1には、プラント等に据え付けられた配管等を放射線撮影によって非破壊検査する方法を開示する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2009-080055号公報

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】斉藤恒雄：画像処理アルゴリズム：近代科学社 1993

【非特許文献2】工藤 博幸、中村 宏貴：トポロジー拘束条件付きラベリング法を用いた吸収マップ再構成：電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J85-D-II No.1 pp.130-139 (2002)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

非特許文献1はFBP法を用いるため、完全投影データが必要となる。しかしながら、狭隘な場所に設置されたプラント配管を現地で検査するような場合、完全投影データの取得が困難である。そのため、非特許文献1のCT装置を適用することができないケースが多い。

【0009】

また、非特許文献2に示す方法を適用しても、例えば減肉のような検査対象物の内部にある微小な欠陥などを高精度に再構成することは難しい。これは、現地プラント配管を断層撮影する場合に取得できる投影データの角度範囲が非常に小さくなるためである。

【0010】

一方、特許文献1の手法によれば投影角度が小さい場合においても微小欠陥を再構成することが可能となった。しかしながら、現地プラントで配管が設置されている場所は、配管周囲の空間が狭いことが多い。配管周囲の空間が狭いと、放射線断層撮影装置を設置する空間や、この装置が動作する空間も狭くなる。そのため、広い範囲の投影データを取得することが困難になるという課題がある。

【0011】

本発明の目的は、現地プラント配管を撮影する際に、配管周囲が狭隘な状況においても、装置の動作範囲を小さくしつつ、広範囲の投影データを取得し、配管内部の微小欠陥などを画像化できる高画質な断層画像を作成することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明は、放射線源と、検査対象物の着目点、さらに放射線検出器とを結ぶ直線と、放射線源から放射線検出器の検出面に対しておろした垂線とがなす投影角度は、再構成領域の両端が中央よりも小さいことを特徴とする。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、現地プラント配管を撮影する際に、配管周囲が狭隘な状況においても、装置の動作範囲を小さくしつつ、広範囲の投影データを取得し、配管内部の微小欠陥などを画像化できる高画質な断層画像を作成できる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】システム構成を示す図である。

【図2】透過データ取得の模式図である。

10

20

30

40

50

【図 3】検査領域端部における透過データ取得を示す図である。

【図 4】並進範囲に対する各位置の投影角度を示した図である。

【図 5】X線源と検出器、検査対象物と再構成領域の関係を表した図である。

【図 6】X線源の並進距離の比較を示した図である。

【図 7】システムの検査の流れを示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の実施例を、発電プラントなどに設置された配管を例として図を用いて説明する。

【実施例 1】

【0016】

図 1 は、放射線断層撮影装置を示す。本実施例において、X線源 101 は X 線管である。この X 線源 101 と 2 次元平面素子の検出器 102 は、検査対象物 103 を挟んで対向するように配置されている。X 線源 101 と 2 次元平面素子の検出器 102 は、支持部材 104 により保持されている。移動機構 105 は、X 線源 101 を検査対象物 103 と検出器 102 に対して移動させる。本実施例において、検査対象物 103 は配管を示している。また、X 線源 101 は配管長手方向に移動する。

【0017】

検出器 102 はシンチレータやシリコンなどの薄膜で形成され、X 線を検出すると可視光を出す。検出器 102 は、この光をフォトダイオードにより電気信号へ変換する。あるいは、シリコン中に入射した光子の電離作用により発生した電子と空孔との対から、直接的に電流を検知する。検出器の検出面は、検出器 102 の上面とする。フォトダイオードを含む電子回路 106 は、検出器下部に配置され、検出面を保護するカバー材 107 が検出器上面に設けられている。

【0018】

X 線源 101 は高圧電源 108 と冷却器 109 に接続されており、X 線管システム制御部 110 により安定した管電圧と管電流が供給される。検出器 102 は、検出器制御部 111 から命令されたデータ取り込みタイミングに応じて、データを収集する。X 線管システム制御部 110 及び検出器制御部 111 は、中央制御部 112 に接続されている。中央制御部 112 は、各機器の動作タイミングを調整し、制御部内部にある演算装置にてデータ処理を実施する。モニタ 113 は、装置の動作状態や検査結果を表示する。このように本実施例の装置構成は、X 線源 101 が X 線を照射しながら並進して、検出器 102 が検査対象物 103 の透過データを取得し、中央制御部 112 が透過データを再構成して断層像を得る装置である。

【0019】

図 2 は透過データを取得する際の模式図を示す。ここで、投影角度 203 とは、X 線源 101 が地点 Y から地点 Z に移動した場合に、X 線源から照射される X 線 202 が検査対象物の着目点 201 を通過して検出器 102 の検出素子に入射する直線と、X 線源 101 から検出器 102 におろした垂線とのなす角度が動く範囲と定義する。着目点 201 における投影角度は、203 a となる。この定義によれば、X 線源 101 が地点 Y から地点 Z に移動することで、着目点 201 の投影角度 203 a は広がる。投影角度 203 が広がることで、再構成画像の高精度化に有利となる。しかしながら、投影角度 203 を広げるには、X 線源 101 の移動距離を大きくしなければならない。実際のプラントは配管のエルボ一部などがあり、配管周囲の空間が極めて狭隘である。そのため、X 線源 101 の移動空間を左右方向に十分広くとることは非常に困難である。

【0020】

そこで図 3 に示すように、再構成領域の投影角度を中央部より端部で狭くする。そのため、X 線源 101 の並進範囲を短くすることが可能となる。並進範囲に対する各位置での投影角度 203 を図 4 に示す。この際、投影角度 203 は画像再構成に必要な角度を保持する必要がある。即ち、投影角度は、画像再構成に必要な角度を保持することが必要条件

10

20

30

40

50

である。また、図 2 において、地点 Y の投影角度と地点 Z の投影角度は左右対称である必要はない。つまり、投影角度の始点と終点は、画像再構成上、問題とはならない。ただし、始点の角度と終点の角度、X 線源 1 0 1 と着目点 2 0 1 との位置関係に基づき、着目点 2 0 1 での透過経路を定義する必要がある。この定義がなされれば、各着目点における投影角度の始点と終点が異なる場合においても画像再構成は可能となる。よって、着目点 2 0 1 ごとに、投影角度の始点と終点の情報、ならびに X 線源 1 0 1 と着目点 2 0 1 と検出器 1 0 2 との相対位置で形成される透過経路の情報を決定することで、画像再構成は可能となる。

【 0 0 2 1 】

画像再構成の画質を向上させる観点からは、投影角度 2 0 3 を 4 0 ° 以上とすることが望ましい。端部の着目点 2 0 1 b において、X 線源 1 0 1 は並進範囲を出来得る限り短くする。また、投影角度 2 0 3 を保持するため、X 線源 1 0 1 は、X 線源 1 0 1 から放射される X 線 2 0 2 の拡がりの中心軸 ( X 線源 1 0 1 から検出器 1 0 2 におろした垂線 ) に対して左右非対称の投影とすることが必要となる。この場合、X 線源 1 0 1 から放射される X 線 2 0 2 の放射角度が広い程、並進範囲を短くすることが可能となる。

10

【 0 0 2 2 】

図 5 は、X 線源 1 0 1 と検出器 1 0 2、検査対象物 1 0 3 と再構成領域 3 0 1 の関係を示す。直線 5 0 1 ( X 線源の並進軸 ) は、X 線源 1 0 1 が移動する軌跡を示す。ここで、X 線源 1 0 1 から検出器 1 0 2 に降ろした垂線の長さを  $H_d$  とし、検査対象物 1 0 3 である配管の直径を  $P$  とする。また、X 線源 1 0 1 の並進軸 5 0 1 から検査対象物 1 0 3 上部までの距離を  $H_p$  とし、検出器 1 0 2 における検出可能範囲長さを  $L_d$ 、検査対象物の再構成領域長さを  $L_p$  とする。

20

【 0 0 2 3 】

次に、再構成領域の上側端部の点 5 0 2 に着目する。X 線源 1 0 1 が図中右側にある場合、着目点 5 0 2 と検出器 1 0 2 とがなす三角形  $a b c$  において、X 線源 1 0 1 の並進軸 5 0 1 から検出器 1 0 2 に降ろした垂線と着目点 5 0 2 を透過する X 線とがなす角を  $\theta_1$ 、辺  $b c$  の長さを  $x$  とすると、

【 0 0 2 4 】

【 数 1 】

$$\overline{ab} = h_d - h_p \quad \dots \text{式(1)}$$

30

【 0 0 2 5 】

【 数 2 】

$$\frac{x}{h_d - h_p} = \tan \theta_1 \quad \dots \text{式(2)}$$

$$x = (h_d - h_p) \tan \theta_1$$

【 0 0 2 6 】

となる。この時、 $x$  は  $(L_d - L_p) / 2$  以下であることが必要条件となる。

40

【 0 0 2 7 】

そして、端部における投影角度を  $\alpha$  とする。X 線源 1 0 1 が図中左側に移動した際に、着目点 5 0 2 と X 線源 1 0 1 とがなす三角形  $A B C$  における、着目点 5 0 2 から並進軸 5 0 1 に降ろした垂線と着目点 5 0 2 を透過する X 線とがなす角  $\theta_2$  は、 $\alpha - \theta_1$  となる。辺  $B C$  の長さを  $X$  とすると、

【 0 0 2 8 】

【 数 3 】

$$X = h_p \tan \theta_2 = h_p \tan(\alpha - \theta_1) \quad \dots \text{式(3)}$$

【 0 0 2 9 】

50

となる。

【0030】

ここで、1に対して2が小さくなるように設定することで、X線源101の移動量を短くすることが可能となる。

【0031】

また、X線源101の投影角度が画像再構成に必要な角度 $\theta$ よりも広い場合、1を大きく、2を小さくすることが可能となる。図6は、投影角度の具体例を示す。X線源101の投影角度が70°あり、X線源101と検出器102間の距離が500mmである場合を示す。必要な角度 $\theta$ が40°とすると、1を35°とすれば、2は5°とすることが可能である(図6の下図)。図6の下図では、 $\theta = 20^\circ$ の場合と比較して、X線源101の並進範囲が片端で約70mm、両端で約140mm短くすることが可能となる。このように、放射線源と、検査対象物の着目点、さらに放射線検出器とを結ぶ直線と、放射線源から放射線検出器の検出面に対しておろした垂線とがなす投影角度は、画像再構成領域の両端が中央よりも小さいため、現地プラント配管を撮影する際に、配管周囲が狭隘な状況においても、装置の動作範囲を小さくしつつ、広範囲の投影データを取得し、配管内部の微小欠陥などを画像化できる高画質な断層画像を作成できる。これにより、実プラントにおける狭隘部への適用度は20%程度向上する。

10

【0032】

つまり、並進走査の始点と終点においては、投影角度の左右非対称形が正反対となる。走査の始点を右側とし、終点を左側とした場合、始点においては垂線に対する非対称性は右側の角度(1)を小さく、左側(2)を大きくする。逆に終点では垂線に対する非対称性は右側角度(1)を大きく、左側角度(2)を小さくする。こうすることで、並進範囲が短くすることができる。

20

【0033】

図7は、配管検査の一連の流れを示す。上述の投影角度において取得した透過データを用いて、中央制御部112は検査対象物103の断層像を再構成する。この場合、透過データの投影角度は限定されたものである。そのため、本実施例の画像再構成方法は、配管の形状情報をあらかじめ再構成プログラムに拘束条件として与える角度限定画像再構成法(Limited-Angle画像再構成法)を用いる。

【0034】

まず、現地プラントにてX線源101や検出器102などの装置を検査箇所を設置する(ステップ701)。次に、X線源101、検出器102、検査対象物103との相対位置、ならびに再構成領域の大きさに基づき、式(1)から(3)を用いてX線源101の並進範囲を決定する(ステップ702)。そして、再構成領域の端部では、投影角度を中央部よりも狭く設定する(ステップ703)。これにより並進範囲を短くすることが可能となる。次に、X線源がX線を照射しながら並進移動し、検出器が透過データを取得する(ステップ704)。前述により、各着目点201における、投影角度の始点と終点の情報、X線源101と着目点201と検出器102との相対位置から算定した透過経路の情報をを用いて、画像再構成を実施する。この際、取得した透過データは投影角度が限定されているため、配管形状などの拘束条件を用いた角度限定画像再構成により配管内部を再構成する(ステップ705)。

30

40

【0035】

上記により、配管のエルボ一部などのような配管周囲空間が狭い場所においても対象とする領域を再構成するために必要な透過データを取得することが可能となる。

【産業上の利用可能性】

【0036】

本発明のシステムを用いることで、発電プラントに設置された配管など、大型の構造物のように、狭隘部に配管が設置された場合であっても、透過データを取得することが可能である。

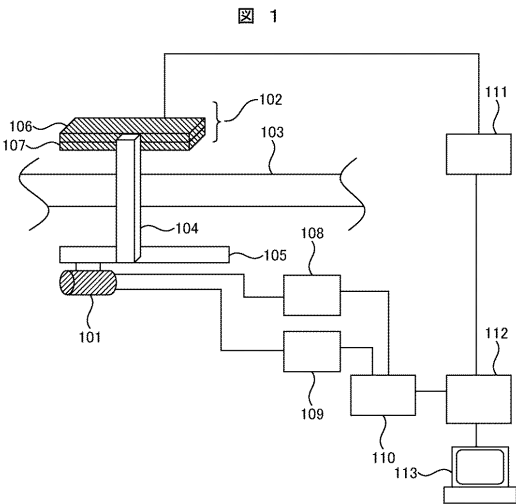
【符号の説明】

50

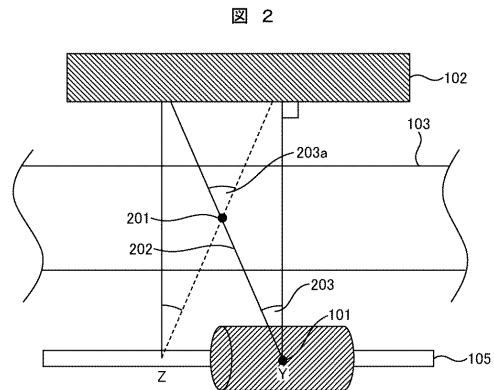
【 0 0 3 7 】

- 1 0 1 X線源
- 1 0 2 検出器
- 1 0 3 検査対象物
- 1 0 4 支持部材
- 1 0 5 移動機構
- 1 0 6 電子回路
- 1 0 7 カバー材
- 1 0 8 高圧電源
- 1 0 9 冷却器
- 1 1 0 X線管システム制御部
- 1 1 1 検出器制御部
- 1 1 2 中央制御部
- 1 1 3 モニタ
- 2 0 1 着目点
- 2 0 2 X線源から照射されるX線
- 3 0 1 再構成領域

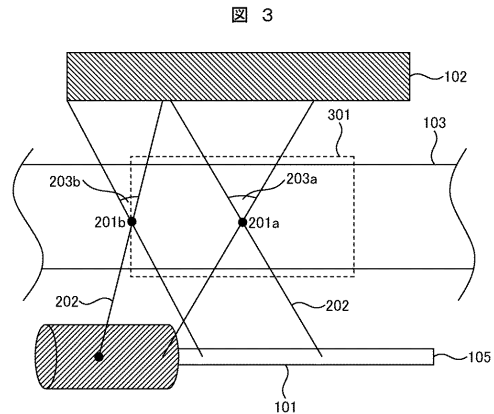
【 図 1 】



【 図 2 】

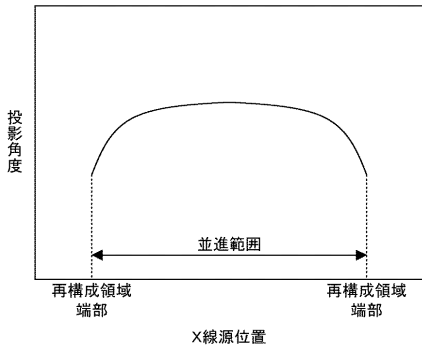


【 図 3 】



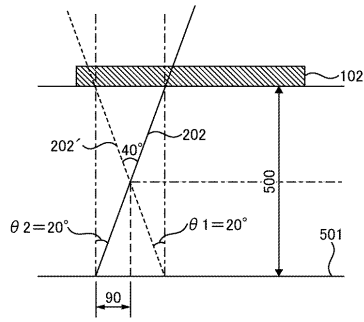
【 図 4 】

図 4



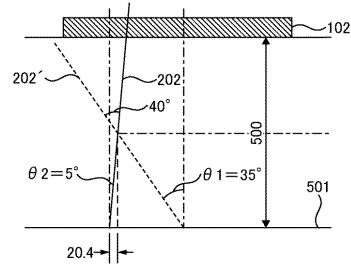
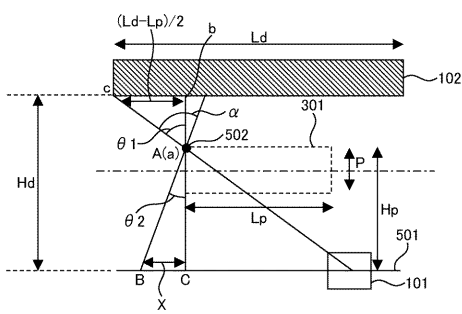
【 図 6 】

図 6



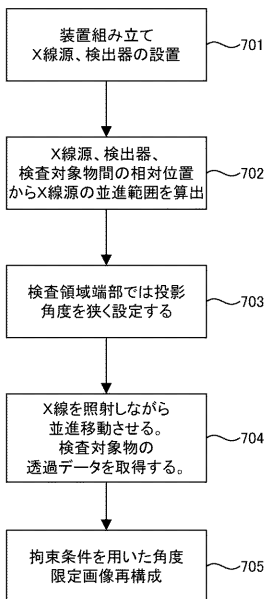
【 図 5 】

図 5



【 図 7 】

図 7





---

フロントページの続き

(72)発明者 定岡 紀行

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号  
環境システム研究所内

株式会社日立製作所エネルギー・

(72)発明者 藤間 正博

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号  
環境システム研究所内

株式会社日立製作所エネルギー・

Fターム(参考) 2G001 AA01 BA11 CA01 DA02 DA09 HA14 JA11 KA03 LA02 MA06