

ルームエアコンの省エネルギーを支える 画像認識技術

小松 佑人
Komatsu Yuto

浜田 宏一
Hamada Koichi

能登谷 義明
Notoya Yoshiaki

木村 士良
Kimura Kotoyoshi

家庭内での消費電力量が多いルームエアコンには、さらなる省エネルギー性が求められている。2014年度発売の「ステンレス・クリーン 白くまくん」Xシリーズは、4.0 kW, 5.6 kW, 8.0 kWクラスにおいて業界ナンバーワン^{※)}の省エネルギー性能を実現するとともに、節電機能と快適性向上の両立をめざす技術として、画像認識技術を用いた「くらしカメラ3D」を搭載した。この「くらしカメラ

3D」は、可視光カメラ、温度カメラに加えて近赤外線カメラを用いることで、人の位置や周辺温度だけでなく、家具の位置や形状、部屋の間取りを検知する。暖房時には家具を避けて足元に向けて暖気を吹き出し、冷房時には冷風を循環させて部屋全体を涼しくするなどのきめ細かい風向制御が可能となり、一年を通して快適な空調を行う。

1. はじめに

これまでの家電製品は、娯楽性、利便性、快適性というニーズと、社会や生活環境の変化に応じて進化してきた。近年では、各機器の高機能化と使い勝手を向上させるユーザーインターフェース、省エネルギー性が強く求められている。家電製品の進化の過程には、大きく以下の2つの流れがある。

(1) 娯楽性

情報、娯楽、生活の楽しみの提供からスタートしたラジオ、テレビ、オーディオの流れ

(2) 利便性

家事労働の省力化など、生活が便利になることを追求してきた洗濯機や冷蔵庫などの白物家電の流れ

さらに、白物家電による生活レベルの向上とともに、住環境をより快適にする空調機器の進化や、オール電化の住宅設備機器の登場により、現在では快適性が3番目の大きな流れとなっている¹⁾。快適性とは、温度や湿度を最適にコントロールし、さらに、自然に近い環境を実現することにある。こうした快適な空調住環境をめざすのが総合空調としてのエアコンである。四季の温度変化、北海道から沖

縄までの環境条件の違い、住宅の高気密化などの諸条件を満足し、快適性を追求するエアコンを実現するため、各社は省エネルギー技術の開発を進めてきた。

2. ルームエアコン向けセンシング技術

省エネルギー技術の開発が進む中、エアコンの高機能化に伴い、熱検出センサー(サーモパイル)や赤外線センサー(焦電センサー)を用いて、人の出入りや室内での居場所、活動量、在室人数などの情報を把握したうえで風向きや風量を制御することにより、節電運転を行うエアコンが各社から出荷されている。このようなエアコンの高機能化に伴い、室内の構造、すなわち壁面、梁(はり)、扉、家具などの位置を推定し、細やかに風向きや風量を制御する技術が求められるようになってきた。

間取りや家具を検出する主な方式として、以下の3つが考えられる。

- (1) 複数のカメラを用いる方式
- (2) 超音波センサーを用いる方式
- (3) レーザを用いる方式

複数のカメラを用いる方式は、撮影した画像間の差分を利用して対象物の位置を推定する。この方式では、複数のカメラを必要とするために高価になることや、カメラ位置の制約や筐(きょう)体の大きさの制約を受けるという課

※) 2015年4月1日現在。RAS-X40E2期間消費電力量1,036 kWh。RAS-X56E2期間消費電力量1,630 kWh。RAS-X80E2期間消費電力量2,802 kWh。JIS (Japanese Industrial Standards) に基づく条件による。

題がある。超音波センサーを用いる方式は、コストの課題は解決されるが、センシングによって得られる情報量が少ないため、精度の低さや検出できる距離の短さが課題である。また、レーザを用いる方式は、コストや安全面に課題がある²⁾。

そこで、コストと精度の要求を両立させるために、カメラ1台で間取りと家具を検出する技術の研究開発に取り組んだ^{3), 4)}。開発した技術は、あらかじめモデルとして与えた部屋の構造知識を用いることにより、画像1枚から、扉の開閉や対象物の位置などの建物の構造を検出し、建物内の間取りと家具を検出する。さらに、家電製品などへの適用を想定し、低演算量で処理可能な方式を開発した。

節電と快適性向上の両立をめざした技術として、可視光カメラをセンサーとしてエアコンに初めて採用し、居住空間の人の動きを検出して生活シーンに合った快適節電制御を実施する「くらしカメラ」を開発し、2012年度発売製品に適用した。

2013年度には、可視光カメラに加えて温度カメラ（サーモパイル）を搭載し、部屋の間取りをセンシングする「くらしカメラツイン」を開発し、より正確で快適な節電機能を実現した。この製品では、ルームエアコンに搭載しているカメラで撮影した画像から、扉の開閉や部屋の形状および家具を検出し、風向きと風量を自動制御する。例えば、リビングと隣室が二間続きの場合においては、扉を閉じていると一間の空調、開いていると二間に合わせた空調を自動で行うほか、吹き出す風のスイングの向きを部屋の大きさに合わせて自動制御する。

さらに、2014年度製品では、省エネルギー性を前提に、顧客の共感が得られる快適性をめざし、「くらしカメラ ツイン」をさらに進化させた「くらしカメラ 3D」を開発した。この製品では、人の位置や周辺温度だけでなく、家具の位置や形状、部屋の間取りを検知し、「気流の通り道」を認識する。本稿では、ルームエアコン向けに開発した画像認識技術のうち、間取り検出技術と家具検出技術を取り上げ、その詳細を第3章、第4章でそれぞれ述べる。

3. 間取り検出技術

従来のルームエアコンは、部屋の扉の開閉状況や部屋の形状および大きさなどを検出できないため、エアコンから最も遠い部分への出力を強くするなど、部屋の間取りに従った空気調節ができなかった⁵⁾。

この課題を解決するために、室内の構造を推定する間取り検出技術を開発した。この技術は、室内の構造、すなわち、壁面、床、梁、扉などの動きと位置を推定するものであり、扉の開閉や位置を検出できるようになるため、例え

ば部屋が二間続きでも、エアコン1台で部屋の奥に風を強く送ることが可能になる。

3.1 間取り検出技術の処理内容

今回の研究では、室内全体の空気を一定の温度に調節するために、部屋の扉やコーナーをカメラで撮影した画像から間取りを検出する技術を開発した。この技術によって部屋の扉やコーナーを検出することにより、風向きをコーナー内だけに制御したうえで、部屋の奥や隣室まで風を強く送ることが可能になる。

間取り検出技術の適用例を図1に示す。風向きを左右にスイングさせた場合に風が壁に当たらずに、部屋全体の温度を均一に保つとともに、部屋の奥まで風量を強く制御することができる。

間取りを検出するためには、扉の位置を把握する必要がある。そのために、撮影した画像を基に複数の扉の候補を抽出し、その中から正しい扉を絞り込むことにした。この手順により、高速に扉を検出することができる。扉検出方法の処理順を図2に示す。まず、扉の開閉の動きを判断するため、扉を開いた画像と扉を閉めた画像との差分値を算出する。次に、算出した差分値に対して、領域分割処理によって扉の候補を複数抽出する。次に、扉の候補の中から扉の四角形らしさや大きさを判断し、扉の候補を1つに絞

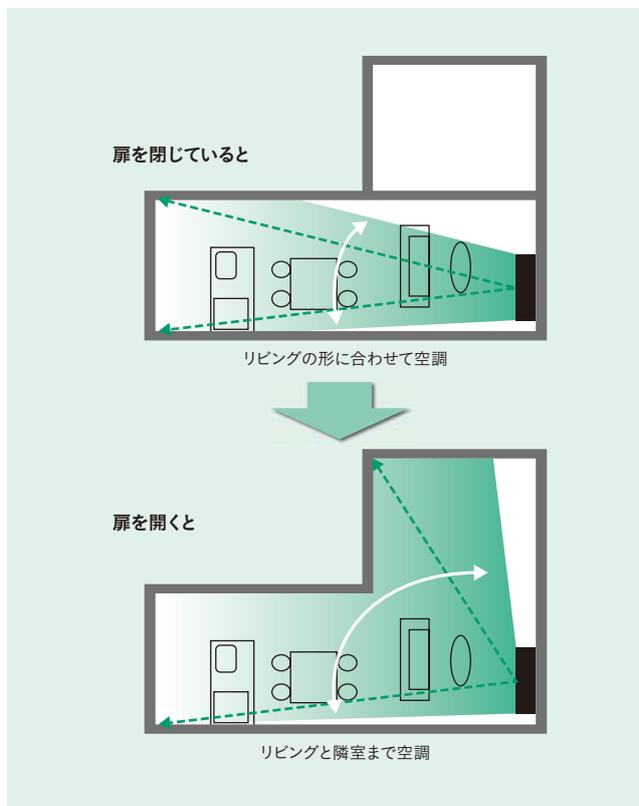


図1 | 間取り検出例

風向きを左右にスイングさせた場合に風が壁に当たらずに、部屋全体の温度を均一に保つとともに、部屋の奥まで風量を強く制御できる。

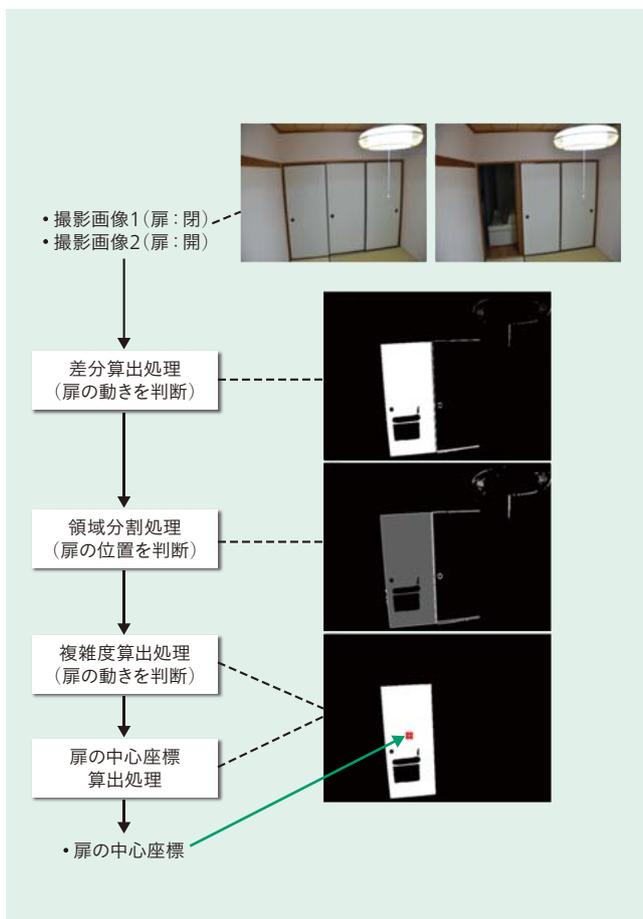


図2 | 扉検出方法の処理順

撮影した画像を基に複数の扉の候補を抽出し、その中から正しい扉を絞り込む。

り込む。このように検出した扉に対して、複雑度（扉の領域全体の絵柄の複雑さ）を算出し、それを基に開閉を判別する。最後に、扉の面積から中心座標を算出し、処理を終了する。

建物の構造を検知するためには、建物内の梁を正確に検出する必要がある。開発した技術では、あらかじめモデルとして与えた部屋の構造知識を用いて、数多くの梁の候補の中から正確に梁を検出し、梁の交点から建物内の構造を検知する。上述の部屋の構造知識とは、直線どうしの交点の角度や位置、直線の強度のことをいう。これらの構造知識を用いて梁の絞り込みを行うことにより、部屋のコーナーを検出する。

コーナー検出方法の処理順を図3に示す。まず、梁の候補を見つけるため、撮影した画像内のエッジを検出する。次に、検出したエッジ画像に対して、直線検出処理によって梁の候補の絞り込みを行う。次に、あらかじめモデルとして与えた部屋の構造知識を用いて、数多くの梁の候補の中から正しく梁を見つけ、梁の交点から建物内の構造を検知し、処理を終了する。

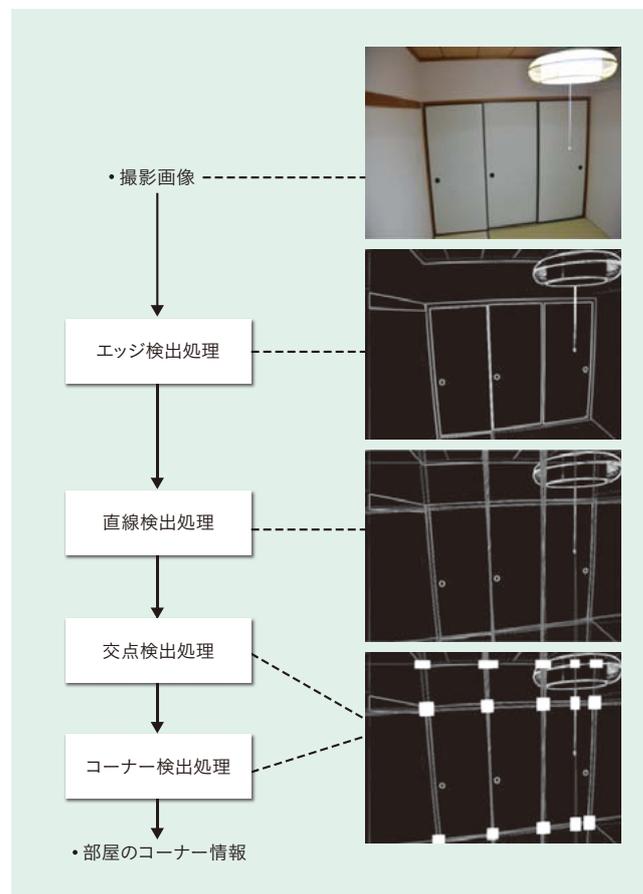


図3 | コーナー検出方法の処理順

数多くの梁（はり）の候補の中から正しく梁を見つけ、梁の交点から建物内の構造を検知する。

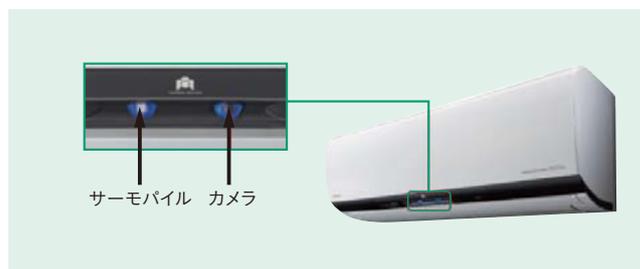


図4 | エアコンに搭載したカメラ

エアコンに搭載したサーモパイルとカメラの位置を示す。

3.2 実環境での間取り検出結果

間取り検出技術をルームエアコンに適用した際の評価実験を行った。実験には、エアコンに搭載したカメラ（図4参照）によって実際に撮影したデータセットを用いた。間取り検出技術の処理結果の一例を図5に示す。

4. 家具検出技術

家庭において、ルームエアコンの使用頻度が高く、大型機種が設置されているリビングルームの形態はLDK（Living, Dining, Kitchen）が主流となっており、家族が集まる場所で時間帯によってさまざまな生活シーンが展開されているのが特徴となっている。このリビングルームには他の部屋とは異なり、ソファやダイニングテーブルが設置

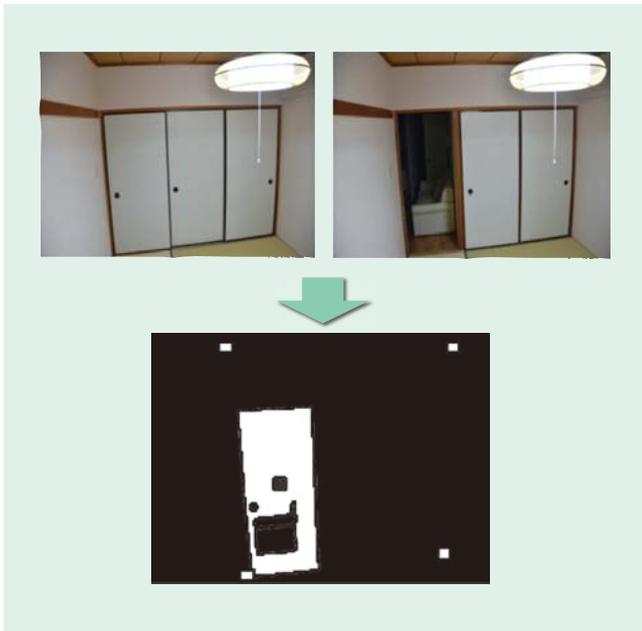


図5 | 間取り検出技術の処理結果

エアコンに搭載したカメラによって実際に撮影したデータセットを用いた間取り検出技術の処理結果の一例を示す。

されており、「ソファやダイニングテーブルが気流を遮って足元に暖気が届かない」、「温度ムラができて部屋全体が涼しくならない」という声が顧客から聞かれた。そこで、家具の位置や形状を検出し、気流が通る道である「気流の通り道」を認識する家具検出技術を開発した。

4.1 家具検出技術の処理の流れ

エアコン室内機中央部にカメラ部を設け、近赤外線画像を取得するときのみ、近赤外線波長を透過するフィルタをシャッター方式で中央の可視光カメラの前に移動させ、近赤外線カメラとして機能させる。さらに、近赤外線LED (Light-emitting Diode) を照明として発光させて近赤外線画像を取得する (図6参照)。

取得した近赤外線画像にノイズ除去、エッジ検出、領域分割などの処理を行い、家具の候補を検出する。次に、家



図6 | 「くらしカメラ3D」の構成

中央の「可視光カメラ」の前に、近赤外線画像を取得するときのみ、近赤外線波長を透過するフィルタを移動させる。

具の特徴 (形や大きさなど) を用いて、家具の候補を絞り込む。さらに、家具の脚の長さ・開口面積を算出し、気流の通り抜ける家具か、気流の通り抜けない家具かを判断する (図7参照)。

この方法によって特定した気流の通り道へ室内機からの気流を制御するため、従来製品では2枚設けていた上下フラップの上側をさらに3分割した「3分割フロントフラップ」を開発した (図8参照)。これにより、気流の通り道に向けたきめ細かな風向制御が可能となり、暖房運転時は足元を狙って気流を吹き出し、冷房運転時は冷気だまりの形成を抑えて冷風を循環させ、快適な空調を実現する。

さらに、足元の温度や状態 (スリッパや厚手の靴下などを履いている状態) によらずに足元を検出できるようにするため、可視光画像を用いた足元検出技術を開発した [図9 (左) 参照]。



図7 | 近赤外線画像と画像処理による家具検知

エッジ処理とパターン認識によって家具の特徴 (形状) を認識する。さらに、気流が通り抜ける家具か通り抜けない家具かを判断する。



図8 | 3分割フロントフラップ

3つに分割したフラップをそれぞれ独立して動かし、きめ細かい風向制御を行う。

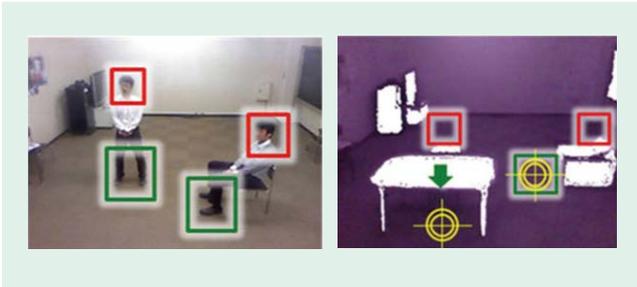


図9 | 人の足元の検知(左)と暖房時の「気流の通り道」検知(右)
可視光カメラによって足元を検知し、近赤外線カメラによって気流の通り道を特定する。

4.2 実環境での気流の通り道検知結果

以上の情報を基に、暖房運転時においては、足元へ気流を届けるための気流の通り道を図9(右)に示すように特定する。

5. おわりに

本稿では、ルームエアコンの省エネルギーと快適性向上の両立をめざす技術として、画像認識技術を用いた間取り検出技術および家具検出技術について述べた。

間取り検出技術により、エアコンに搭載しているカメラで撮影した画像から、扉の開閉や部屋の形状および大きさを検出し、部屋の状況に合わせて風向きと風量を自動制御することが可能となった。また、家具検出技術により、家具の位置や形状、部屋の間取りを検知し、気流が通る道を認識することにより、暖房時には足元に向けて暖気を吹き出し、冷房時には冷風を循環させて部屋全体を涼しくするなどのきめ細かい風向制御を実現した。このようなきめ細かい風向制御により、熱だまりの発生を防ぎ、快適性を保ったまま、省エネルギー性能を向上させることができた。

この技術は家電製品への適用を想定して開発したものであり、カメラ1台の画像のみを用いて、低演算量で推測することを可能とした。今後は移動ロボットが動作する際の空間検知や障害物推定、建物内部(オフィスや店舗、トンネルなど)の異常検知などへの展開を検討していく。

参考文献など

- 1) 大塚, 外:「もっと快適に」生活の場に合わせた空調の進化, 日立評論, 92, 10, 768~771 (2010.10)
- 2) 山本, 外: エアコンの省エネ要素技術開発, パナソニック技報, Vol. 56, No. 2, 105~110 (2010.7)
- 3) 日立アプライアンス株式会社ニュースリリース, ルームエアコン「ステンレス・クリーン 白くまくん」Zシリーズを発売 (2013.9), <http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2013/09/0912a.html>
- 4) カメラ1台で室内の空間検知を行える画像処理技術~日立の最新エアコンに「間取りサーチ」として搭載~, IT's eye ラボラトリー・レポート, はいたっく, 15~16 (2013.11)
- 5) 大塚, 外: 2011年度PAMエアコン「イオンミスト ステンレス・クリーン 白くまくん」(Sシリーズ)の開発~エコに「ステンレス・クリーン システム」をたし算一, 日立評論, 93, 10, 646~649 (2011.10)

執筆者紹介



小松 佑人
日立製作所 研究開発グループ
システムイノベーションセンタ メディア研究部 所属
現在, 画像認識・動画像符号化アルゴリズムの研究に従事
情報処理学会会員, 電子情報通信学会会員



浜田 宏一
日立製作所 研究開発グループ
システムイノベーションセンタ メディア研究部 所属
現在, 画像の信号処理に関する研究に従事
博士(情報理工学)
映像情報メディア学会会員, 電子情報通信学会会員



能登谷 義明
日立アプライアンス株式会社 空調事業部 栃木空調本部
空調システム設計部 所属
現在, ルームエアコンの開発に従事



木村 士良
日立アプライアンス株式会社 空調事業部 ルームエアコン統括本部
ルームエアコン営業企画部 所属
現在, ルームエアコンの商品企画に従事