

おいしい「冷凍」や、調理時の時短・省手間を実現した家庭用冷蔵庫の開発

Flavorful Frozen Food and Home Refrigeration that Reduces Preparation Time and Labor

安 信 淑 子
Toshiko Yasunobu

松 山 真 衣
Mai Matsuyama

要 旨

近年、共働き世帯の増加に伴い、長時間冷凍しても食品のおいしさを保ちたいというニーズに加え、常備菜や下味付けなど調理の短縮や手間の軽減が求められている。そこで、特に冷凍ニーズの高い肉類を中心に最適な冷凍条件を適応した『はやうま冷凍』と、急速冷却により調理時間と労力を削減する『はやうま冷却』技術を開発した。

『はやうま冷凍』の技術開発において、食品内部の氷結晶の生成が最大となる温度帯「最大氷結晶生成帯(-1℃～-5℃)」を通過する最適な凍結速度があることを見だし、従来の家庭用冷蔵庫では150分かかっていたものを最適値かつ業界最速の30分に短縮できるクーリングアシストルームを商品化した。また、調理の時短・省手間を図る新たな下味付け時の効果について明らかにし、『はやうま冷却』として冷蔵庫での調理アシストを実現した。

Abstract

With the recent increase in the number of dual-income households, there is an increasing need for shorter cooking times and less labor for everything from side dishes to seasoning, while still maintaining the flavor of food, even when frozen for a long time. Therefore, we have developed "Hayauma Refrigeration", which applies optimum refrigeration conditions, especially for meat with high refrigeration requirements, and "Hayauma Cooling", which reduces cooking time and labor through rapid cooling.

First of all, it was found that the optimum freezing method to maintain flavor was to pass items through the "maximum ice crystal formation zone (-1 °C to -5 °C)", leading to the release of a cooling assist room that can shorten the time required for cooling with conventional home refrigerators from 150 minutes to 30 minutes, the fastest in the industry. We clarified the effect of using a new seasoning to shorten cooking time and save labor, enabling the refrigerator to assist in cooking.

1. はじめに

近年、共働き世帯の増加に伴い、週末にまとめて買った食材をたっぷり収納できる大容量タイプの家庭用冷蔵庫が販売されている。

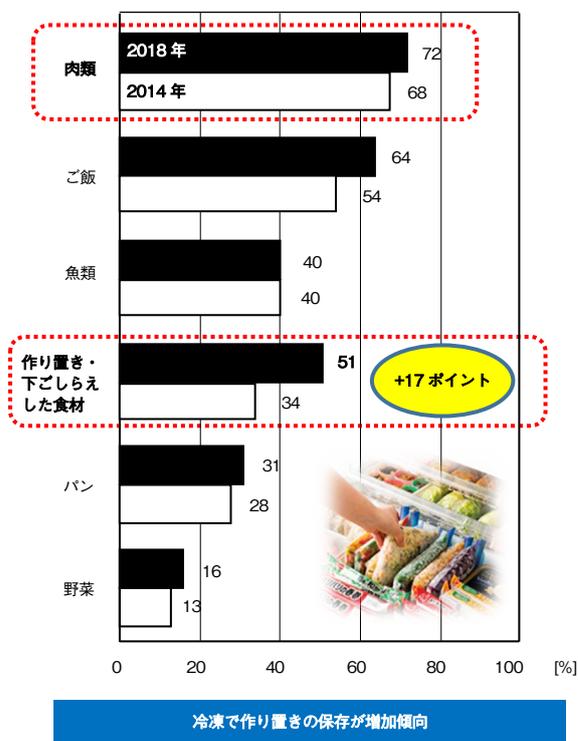
忙しい平日の調理を短縮するために、週末にまとめて常備菜を作る、加熱調理前の下味付けをしておくなどの工夫も浸透しており、生鮮食品に加え、これら常備菜や下味付けした食品も、長時間冷凍しても食品のおいしさを保ちたい、調理の短縮や手間を軽減したい、といったニーズが高まっている。

料理に関心が高いユーザーを対象に、「冷凍室に入っているもの」について調査を行った結果を第1図に示す。

冷凍室に入っているものとしては肉類が最も多く、まとめて買った肉類を小分けにして冷凍していることが推定された。

また、加熱調理済みの常備菜を冷凍する、下味を付ける等の下ごしらえをした肉や魚を冷凍する、いわゆる作り置きや下味付けした食品の冷凍保存の割合が17ポイントも大きく増加していることが明らかとなった。

これらの実態を踏まえ、ユーザーのニーズにこたえるため、特に冷凍ニーズの高い肉類を中心に最適な冷凍条件を



第1図 冷凍室に入っている食品の種類

Fig. 1 Kinds of ingredients in a freezer compartment

適応した『はやうま冷凍』技術、急速冷却で食品へ急速に味を染み込ませ下味を付けるなどの時短・省手間を図った『はやうま冷却』技術を開発し、冷蔵庫本体に各保存技術を備えたクーリングアシストルームを設け、商品化した。

本稿では、これら各技術の内容を順に述べる。

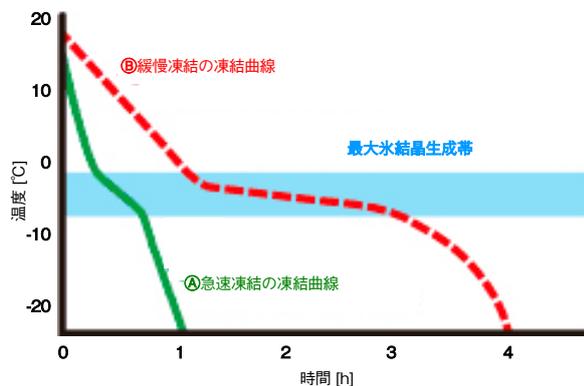
2. 開発内容

2.1 はやうま冷凍

食品を冷凍すると、食品中の水分が凍結することにより氷結晶が生成され、食品の組織が変形、損傷を受け品質が低下する。

一般に、氷結晶の生成が最大となる温度帯「最大氷結晶生成帯 (-1℃~-5℃)」では、この温度帯を速く通過する④急速凍結の方が、ゆっくり通過する③緩慢凍結よりも氷結晶の成長が抑制され、保存前の品質が保持されるといわれている[1] (第2図)。

しかし、凍結速度と品質保持の関係についてその詳細は明確になっていない。



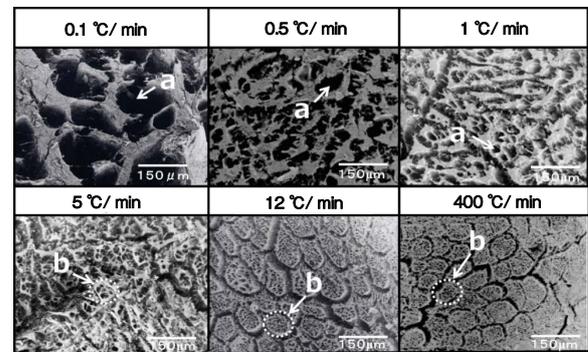
第2図 急速凍結、緩慢凍結の凍結曲線
Fig. 2 Speed of rapid and conventional freezing

そこで、凍結速度と品質保持（おいしさ）の関係を明らかにするために、食品として冷凍機会の最も高い肉類を選択し、そのなかでも脂質が少なく、筋肉タンパク質の組織が比較的均質な鶏ササミを用いて以下の2種の取り組みを行った。その結果、凍結速度がただ速ければ品質保持ができるわけではなく、最適な凍結速度があることを見いだした[2][3]。

〔1〕氷結晶サイズの凍結速度依存性

まず、従来の家庭用冷蔵庫-20℃での最大氷結晶生成帯通過速度（以下凍結速度）0.1℃/min、恒温槽-40℃設定での0.5℃/min、ブライン液（不凍性の液体）-20℃、-40℃、-70℃設定での1℃/min、5℃/min、12℃/min、液体窒素を用いて

の400℃/minと6段階の速度で鶏ササミ（60mm×30mm×10mm）を凍結し、その筋肉断面図を、凍結状態のまま観察できるクライオ走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて、氷結晶を昇華させた後200倍の倍率で観察した（第3図）。



第3図 異なる凍結速度で凍結した鶏ササミのクライオSEM観察結果
Fig. 3 Cryo-SEM images of frozen chicken breasts

第3図中のa（黒色部分）、b（白破線領域内の黒色部分）は、各凍結速度のときに生成された氷結晶が昇華した痕跡であり、その大きさは従来の家庭用冷蔵庫の場合は0.1℃/minで最も大きく、400℃/minで最も小さくなった。一般的に凍結速度の上昇とともに氷結晶が小さくなるといわれており、5℃/min以上では、第3図中のbにあるように、実際に筋原線維の集合体である筋線維（筋細胞）の内部に微細な氷結晶が生成されていることが確認できた。

〔2〕凍結速度と冷凍前、冷凍解凍後の食肉への影響

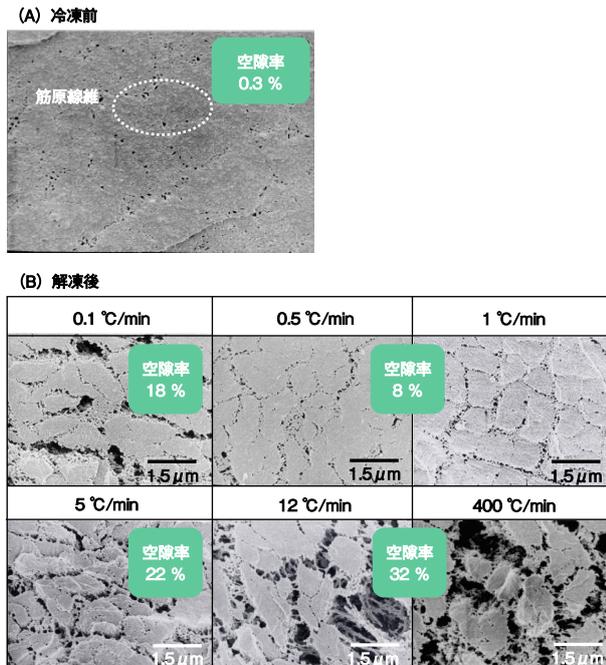
次に、各速度で凍結して3週間、-20℃下で保存後、家庭用冷蔵庫の冷蔵室にて解凍した鶏ササミの横断面の状態を、SEMを用いて20000倍の倍率で観察した（第4図）。

第4図（A）は冷凍前の鶏ササミのSEM像である。筋原線維が隙間なく密に存在している状態が観察された。第4図（B）は凍結保存した後に解凍した鶏ササミのSEM像である。凍結速度0.1℃/minのものには筋原線維（灰色部分）に空隙（黒色部分）が観察され、0.5℃/min、1℃/minと凍結速度が上昇するにつれてその空隙は小さくなった。しかし、さらに凍結速度を速めた5℃/minでは再び空隙が大きくなり、その後、凍結速度が速まるにつれて空隙は大きくなった。

筋原線維間の空隙に該当する部位（SEM写真の黒色部分）が写真全体に占める割合（空隙率）を算出すると、凍結速度0.1℃/minでは18%、5℃/minでは22%、12℃/minと400℃/minでは32%を示した。12℃/min、400℃/minの凍結速度では組織により大きな損傷を与えることが判明した。

すなわち、凍結速度が最も遅い0.1℃/minでは、第3図のように最も大きな氷結晶が生成され、第4図（B）のように

組織への損傷が大きくなることが予想される。しかし、凍結速度がより速い5℃/min, 12℃/min, 400℃/minでは、氷結晶が比較的小さいにもかかわらず(第3図)、組織の空隙が大きくなり、特に12℃/min, 400℃/minでは最も空隙が大きく、組織への損傷が最も大きくなった(第4図(B))。



第4図 異なる凍結速度で冷凍し、3週間保存後に解凍した鶏ササミのSEM観察結果

Fig. 4 SEM images of frozen chicken breasts stored at for 3 weeks

これは、凍結速度を速めるため、5℃/min, 12℃/minでは-40℃, -70℃のブライン液(不凍性の液体)、400℃/minでは液体窒素に直接浸漬することで、鶏ササミ表面の熱伝達率を高めて凍結を行っており、表面が急激に温度低下し、中心部に向かって温度勾配が大きくなることで、筋細胞がより損傷を受けやすくなった可能性が推定される。このことから、筋線維内部に生成された微細な氷結晶が、内部にある筋原線維の微細構造を乱す可能性が示唆された。

また-70℃以下の凍結では、それまでの温度帯では凍らなかった水(結合水)まで凍結することが報告されており、この点も筋細胞の損傷の要因になっている可能性が推定される[2]。

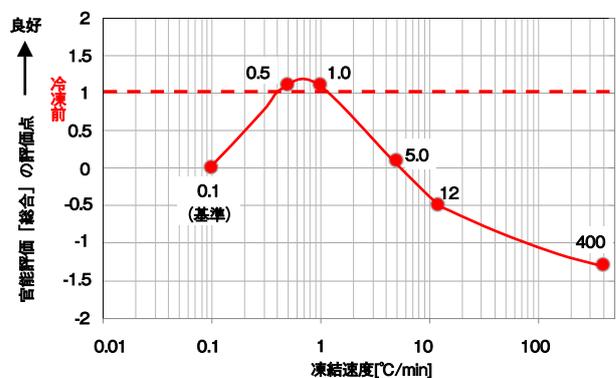
一方、0.5℃/min, 1℃/minの凍結速度では、-40℃の恒温槽、-20℃のブライン液を用いており、第3図のように、0.1℃/minに次いで大きな氷結晶を生成したにもかかわらず、空隙率8%と最も小さいことから、空隙率0.3%の冷凍前の組織に比類するレベルには至っていないものの、組織への損傷は最も抑制されていることが示唆された。

これは、0.5℃/minの凍結速度では-40℃の恒温槽、1℃/minの凍結速度では従来の家庭用冷蔵庫と同様の-20℃のブライン液を用いており、5℃/min, 12℃/min, 400℃/minと比較すると熱伝導率が低いことにより、表面の急激な温度低下やそれがもたらす中心部との温度勾配が抑えられた状態で、従来の家庭用冷蔵庫-20℃より凍結速度を速めたことが、凍結速度を単に速めるだけではない、食品を均一に、かつ組織への損傷も抑えられる氷結晶の生成につながった可能性が推定される。

このように、氷結晶の大きさにかかわらず、組織の損傷を最も抑制することができる最適な凍結速度が存在する可能性が得られたことから、実際に食べたときの「おいしさ」について官能評価を行った。

凍結速度0.5℃/min, 1℃/minでは、筋原線維の損傷が小さく、解凍時や調理時の肉汁の流出が抑制され、肉汁が組織内部にとどまることから、食感や味にも差が出ることが推定された。第5図に各速度で凍結した鶏ササミを-20℃で3週間保存後に解凍および加熱調理し、官能評価を行った結果を示す。

官能評価には、主として試料の特性や差を評価する分析型官能評価と、パネルの好みの調査を行う嗜好(しこう)型官能評価があり[4]、今回は前者を用いた。



第5図 鶏ササミの凍結速度(最大氷結晶生成帯通過速度)と官能評価結果

Fig. 5 Sensory evaluation and freezing speed of chicken

また、従来の家庭用冷蔵庫の凍結速度0.1℃/minを基準(評価点:0)として、一般に肉類の「おいしさ」で表現される「香り」「旨味」「硬さ」「弾力」「歯ざわり」の5項目にて総合的に判断する「総合」点で±3段階評価を行った。第5図では、縦軸に各凍結速度の官能評価「総合」の評価点、横軸に凍結速度(最大氷結晶生成帯通過速度)を用いた。

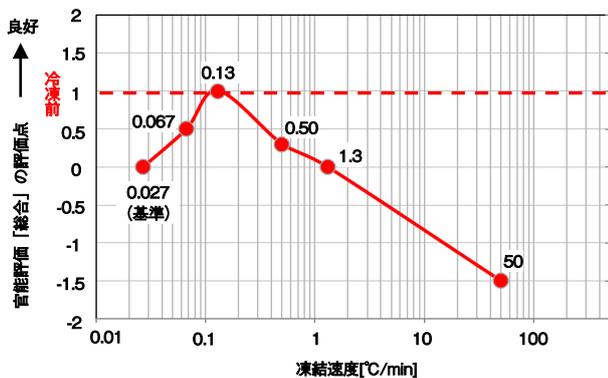
官能評価の点数差1点以上で食べて認識できる差があることを示し、基準の5倍速から10倍速の0.5℃/min, 1℃/minが官能評価「総合」の評価点が1点以上で最も高く、それ以

降速くなる5℃/min以上では逆に評価点が低下する傾向が得られた。

この結果、筋原線維の空隙率と官能評価の結果には相関があり、空隙が小さいほど鶏ササミの「総合」点が最も高く、「香り」「旨味」「硬さ」「弾力」「歯ざわり」で総合的に点数が高いことを意味し、最もおいしく冷凍できる凍結速度の存在が官能評価からも確認された。

「おいしさ」との関連については、他の食品についても検討を行った。ユーザーの実態を踏まえ、牛肉（150g、厚さ10mm）を選び、鶏ササミと同様の検討を行った。

官能評価の結果を第6図に示す。ここでも分析型官能評価を用い、牛肉を従来の家庭用冷蔵庫で凍結した場合の0.027℃/minを基準（評価点：0）として、各凍結速度の官能評価「総合」の評価点を比較した。



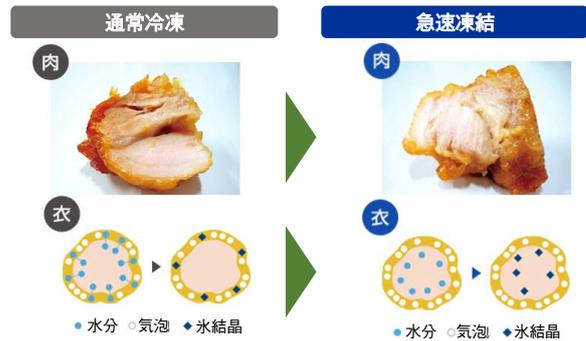
第6図 牛肉の凍結速度（最大氷結晶生成帯通過速度）と官能評価結果
Fig. 6 Sensory evaluation and freezing speed of beef

その結果、0.067℃/min、0.13℃/minと凍結速度が速くなるほど官能評価「総合」の評価点が高くなり、基準の5倍速の0.13℃/minあたりで評価点が大きく上昇し、それ以降は逆に評価点が低くなる傾向が得られ、鶏ササミでの検討と同様おいしく冷凍できる凍結速度の存在が確認された。

なお、今回試料として用いた牛肉を凍結した場合、最大氷結晶生成帯の通過時間（以下、凍結時間）は、基準である従来の家庭用冷蔵庫-20℃で凍結すると150分を要するが、評価点が最も高く、おいしく冷凍できる凍結速度0.13℃/minでは30分で凍結することができる。

これらの知見をもとに、冷蔵庫本体に専用ダクトとファンを備えたクーリングアシストルームを設け、従来よりも大風量かつ集中して氷点下の空気で食品を冷却することにより、凍結時間を従来の150分から最適値かつ業界最速となる30分に短縮した冷蔵庫を商品化した。

さらに他の食品での事例として、調理済みの食品である鶏のから揚げを冷凍保存した場合を第7図に示す。



第7図 調理済み食品の冷凍[5]
Fig. 7 Freezing cooked food

から揚げは鶏肉を油で揚げ、クーリングアシストルーム内で急速凍結したものと、通常冷凍で凍結したものとをそれぞれ-20℃下で2週間保存後、電子レンジで同じ条件で加熱調理して比較した。

その結果、通常冷凍で凍結したものよりクーリングアシストルーム内で急速凍結したものの方が、鶏のから揚げの衣がサクサクした食感を保っている傾向が得られた[5]。

通常冷凍では凍結速度が遅いことから具の水分がより多く衣に移行し、吸着した水分により氷結晶が生成されることで衣の食感が劣化するのに対し、急速凍結では凍結速度が速いことから具からの水分移行が抑制され、衣のサクサクした食感を保つことができた。さらに具に生成される氷結晶の成長も抑制できることから、具・衣ともに、できたの食味により近い状態を保つことができたと推定される。

2.2 はやうま冷却

次に、クーリングアシストルームを用い、急冷による調理時の時短・省手間の効果検証を行った。鶏肉と調味液を保存袋に入れ、冷蔵庫で30分保存したものと、クーリングアシストルーム内で15分急冷したものとをそれぞれ電子レンジで同じ条件で加熱調理して比較した。

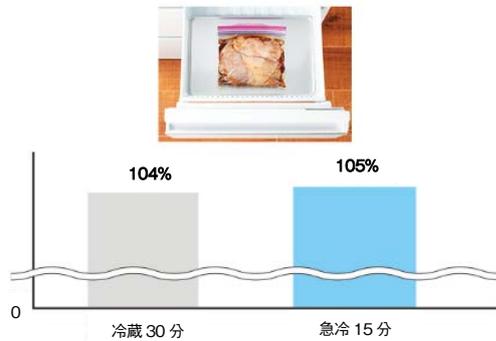
第8図に下味付け時の急冷効果を示す。第8図(A)に示すように、冷蔵庫では30分後の重量（食品+調味液の重量）が104%となったのに対し、クーリングアシストルーム内で急冷すると、半分の15分で同程度の重量105%となり、短時間で下味付けができることがわかった。

さらに、第8図(B)に示すように、それらを加熱調理した後の鶏肉の保水率は、冷蔵庫で30分保存したものより急冷15分の方が高く、ジューシーでよりおいしく調理できていることも示唆された[6]。

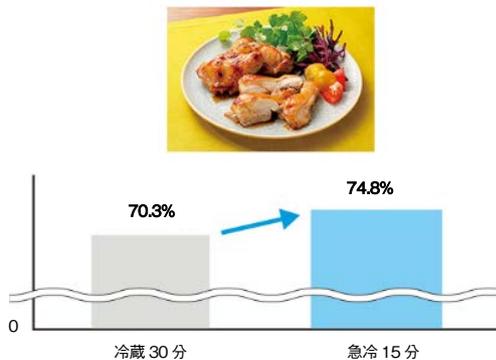
短時間の下味付けについては、氷点下の空気で急冷することにより鶏肉の表面の水分が一部凍結され、氷結晶が生成されることで組織が膨張して空隙が形成され、調味液の浸透が促進されたと推定される。

このように、開発したクーリングアシストルームによる調理アシストも実現することができた。

(A) 鶏肉下味付け後の調味液浸透率



(B) 鶏肉調理後の保水率



第8図 下味付け時の急冷効果[6]
Fig. 8 Cooling in preparation

3. まとめ

本稿では、特に冷凍ニーズの高い肉類を中心とした最適な冷凍条件の検証と、それを急冷に応用した場合の下味付け時の効果検証とをとおして以下の2つの成果を得た。

- (1) 食品の最適な凍結条件を見出すとともに、それを実現するために、冷蔵庫本体に最大氷結晶生成帯通過時間を従来の150分から最適かつ業界最速の30分に大幅短縮したクーリングアシストルームを設け、商品化した。
- (2) 上述の技術を応用することにより、食品の下味付けなどの時短や、よりおいしく調理できる新たな効果を明らかにした。

今後も、ユーザーのニーズに応え、お客様のお役に立ち貢献していけるよう、研究開発を行い、新たな冷蔵庫を市場に提供していく。

本技術の開発にあたり、ご指導いただいた横浜国立大学の渋谷祥子名誉教授、共同研究の推進に際しご指導いただいた同志社女子大学生生活科学部食物栄養科学科の西村公雄特任教授に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] (一社)日本冷凍食品協会, “急速凍結が良い理由,” <https://www.reishokukyo.or.jp/frozen-foods/home-freezing/kyusokutouketu/>, 参照 Apr. 20, 2022.
- [2] 西村公雄 他, “凍結速度が速いほど鶏ささ身の品質は保持されるか－真空調理法による評価－,” 日本家政学会誌, vol. 57, no. 9, pp. 627-634, 2006.
- [3] 安信淑子 他, “冷凍により鶏ササミの構造変化と食味の関係について,” 日本食品科学工学会, 第48回大会要旨集, pp. 197, 2001.
- [4] 内田治 他, 官能評価の統計解析, 日科技連, 東京, 2012.
- [5] パナソニック株式会社, “はやうま冷凍,” <https://panasonic.jp/reizo/function/coolingassist/freezer.html>, 参照 Apr. 20, 2022.
- [6] パナソニック株式会社, “はやうま冷却,” <https://panasonic.jp/reizo/function/coolingassist/cold.html>, 参照 Apr. 20, 2022.

執筆者紹介



安信 淑子 Toshiko Yasunobu
パナソニック (株)
くらしアプライアンス社
Living Appliances and Solutions Company
Panasonic Corporation



松山 真衣 Mai Matsuyama
パナソニック (株)
くらしアプライアンス社
Living Appliances and Solutions Company
Panasonic Corporation