

# 新規エア緩衝システム開発および複合機への適用

Development of New Air Cushioning System and Implementation to  
Packaging of Multifunction Peripherals (MFPs)

吉田 成隆\* 橋本 武志\* 水口 弘美\*  
Narutaka YOSHIDA Takeshi HASHIMOTO Hiromi MIZUGUCHI

## 要旨

重量物の輸送時に製品にかかる衝撃を緩和する緩衝材には発泡スチロールを使用することが一般的である。しかし、発泡スチロールは嵩が大きく、運送、保管、廃棄の際に多大なスペースが必要になり、効率が悪い。

そこで、代替えとして、使用時のみ空気を充填し、衝撃時に空気が圧縮されることにより発生した反発力を用いて緩衝を行うエア緩衝材を検討した。運送、保管、廃棄の際は脱気状態とすることで、体積を発泡スチロールの1%程度に減らすことができる。また、空気の占める割合が多いため樹脂材料の使用量が少なく、廃棄焼却時のCO<sub>2</sub>排出を大幅に削減できる。

しかし、従来のエア緩衝材は個々のエア貯蔵庫(以下セルとする)が独立している単包構成のため、緩衝時に空気が圧縮されると急激に内部圧力が上昇し、破損する。また、反発力が上昇することで製品に対する緩衝性が損なわれるなどの不具合があり、重量物の包装には適用が難しかった。

新規エア緩衝システムは、衝撃を受ける面とそれ以外の面に跨って2つのセルを配置・連通させ、衝撃面で圧縮された空気が他方に移動する構成とした。これにより、急激な圧力上昇を抑制することが可能となった。また、間を繋ぐ連通路形状を工夫することで緩衝機能を向上させた。これらにより、緩衝距離20mmにて160kgの重量物を緩衝できる新規エア緩衝システムを構築できた。

この新規エア緩衝システムを2020年度の新製品に適用し、2005年製品に使用していた発泡スチロールなどの樹脂製緩衝材に比して体積を84%削減し、運送、保管、廃棄時の大幅なスペース削減を達成した。重量に関しては、70%の樹脂製緩衝材を削減することに成功した。この技術を他機種にも展開することで、樹脂製緩衝材の総重量を減らし、2020年度は前年比、年間1200tのCO<sub>2</sub>排出量削減目標を付けた。

## Abstract

Styrofoam is generally used as cushioning material to protect heavy products from impact during transportation. However, Styrofoam is bulky, therefore it requires large space for its transportation, storage, and disposal making them inefficient.

As an alternative, we studied type of air tube that is filled with air only during use. It cushions by using elastic force generated by the compression of air during impact. By taking the air out of it during transportation, storage, and disposal, the volume can be reduced to about 1% of Styrofoam. In addition, since the amount of resin material used is small, CO<sub>2</sub> emissions from waste incineration is greatly reduced.

However, since conventional air tube cushioning material with simple bubble structure where each air unit (hereinafter referred to as a cell) is independent, the internal pressure quickly rises in cushioning and a cell is damaged in some cases. There is another problem that the cushioning performance is limited due to excessive elastic force. It is therefore difficult to apply air tube type material to the packaging of heavy products.

We have introduced new air cushioning system consisted of two cells spanning from one cell that receives the impact to the other jointed together with narrow air-flow channel. The air compressed by the impact moves towards the other, suppressing rapid increase of pressure. In addition, the cushioning function was improved by engineered shape of the air-flow channel. Thus, we were able to create a new air cushioning system that can protect heavy object weighing 160 kg in a cushioning distance of 20 mm.

The new air cushioning system will be applied to new products in 2020, reducing the volume by 84% compared to the resin cushioning materials such as Styrofoam used in the 2005 products. Considerable space reduction during transportation, storage and disposal has also been achieved. In terms of weight, we successfully reduce the resin material by 70%. By applying this technology to other types of packaging, we plan to reduce annual CO<sub>2</sub> emissions in 2020 by 1200 tons compared to 2019.

\*生産調達本部 生産技術統括部 第1製品設計部

## 1 はじめに

30kgを超えるような重量物の緩衝材といえば発泡スチロールが一般的である。70年以上の歴史があり、金型構成含め、様々な改良が施され完成の域に達している。緩衝設計手法も理論的に確立されており、安価で、信頼性の高い緩衝材として各製品の保護に広く使用されている。しかし、発泡スチロールは嵩が大きく、運送、保管、廃棄の際に多大なスペースが必要となり、効率が悪い。また、発泡スチロールの使用後はそのまま廃棄される事も多く、環境汚染へ繋がっている。また、サーマルリサイクルとして燃やす場合でも、CO<sub>2</sub>として空气中に排出され、地球温暖化に多大な影響を与えているのが現実である。この問題に対応するため、各社、発泡スチロールの代替えとして平面化できる段ボールや積み重ねが可能である紙製の緩衝材であるパルプモールドを検討している。しかし、両方とも紙材料であるため、水分を含むことで強度が極端に低下する。また、一度衝撃を受けると破損し、繰り返しの衝撃に対しては緩衝機能が低下するという弱点がある。これらにより、複合機（以下MFP）などの重量物の包装には信頼性確保の為、多量の材料が必要になるという矛盾があった。そこで、発泡スチロール、段ボール、パルプモールドのデメリットを改善し、新たな機能を付加したエア緩衝システムを開発し、当社の新機種に適用することとした。

## 2 エア緩衝技術

### 2.1 従来のエア緩衝システムの問題

従来からエア緩衝材は存在するが、従来のエア緩衝材は素材が弱く、衝撃や製品の凸部などにより容易に破れる不具合があった。そこで、フィルム素材を多層にし、強度を確保するエア緩衝材が提案されている。しかし、フィルム自体を強くしても、袋状に加工するために必要な溶着部分の強度には限界がある。緩衝材の圧縮率が高まると同時に内部圧力が高まり、限界を超えると溶着部の剥離が発生し、空気漏れに至る。Fig. 1 に横軸を圧縮率、縦軸に内部圧力率とした計算結果を示す。ここで、初期の内部圧力を100%としている。

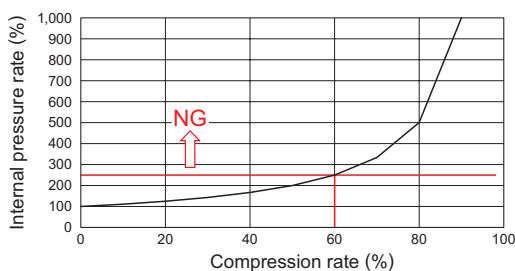


Fig. 1 Relationship between internal pressure and compression ratio. Initial internal pressure is defined as 100%. Internal pressure rises sharply as the compression ratio rises. Since the ability of the adhesion part is about 250%, the possibility of damage increases when compression ratio exceeds 60%.

これを見ると圧縮率上昇に伴い、急激に内部圧力が高まることがわかる。溶着部の溶着強度の実力値は250%程度なので、60%を超えるレベルまで圧縮すると破損の可能性が高まる。これにより、緩衝するための圧縮距離が長くとれないことで緩衝にかかる時間が短くなる。また、内部圧力が高くなることで衝撃時に製品に与える力も高くなる。これらに対応するためには緩衝材を大きくする必要があり、MFPなどの重量物の緩衝には使用が難しかった。

### 2.2 新規エア緩衝システムの考え方

そこで、この部分を技術的にブレイクスルーするため我々はFig. 2に示すように衝撃を受ける面とそれ以外の面に跨って2つのセルを配置し、衝撃面で圧縮された空気が他方に移動するような新規エア緩衝システムを開発した。

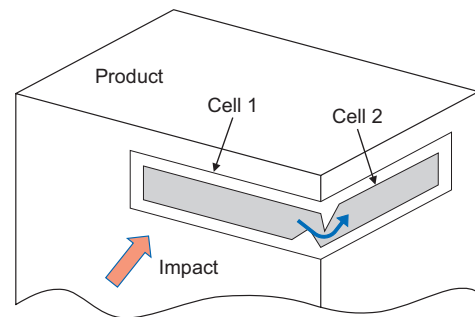


Fig. 2 Layout diagram.

Two cells are spanning from one cell that receives the impact to the other jointed together with narrow air-flow channel. Compressed air flows from impacted cell to another.

以下に新規エア緩衝システムの基本原理を示す。

- 製品が入った包装箱に外力による衝撃が加わった場合、包装箱の内側に設置されたエア貯蔵庫内の空気が圧縮され、緩衝効果が発揮され製品への衝撃が低減される。また、圧縮が進むにつれ内部圧力が高まるが、空気が移動することで急激な内部圧力上昇を抑制し、製品に与える衝撃値を下げる。
- 連通路を介して衝撃を受けていない面に空気が移動し、連通路を通過する際に抵抗を受け発熱&放熱して衝撃エネルギーを開放する。ここで、衝撃面が100%圧縮されても空気が他方へ移動する為、最大でも内部圧力が200%となり、圧力が溶着強度の実力値250%以上に上がらず、破損には至らない。
- 緩衝材の圧縮が進むにつれ空気が圧縮され、緩衝すると同時に、発熱&放熱する。また、2つのセル間を空気が移動するときの抵抗で発熱&放熱する。
- 緩衝後は空気の圧力が均衡し、初期状態に戻る。これは、緩衝機能が初期状態に戻ることを示し（非破壊型緩衝材）、繰り返しの衝撃でも同じように緩衝できる。

## 2.3 基本原理の検証

前記考えが現実に再現するか基礎実験を行った。Fig. 3 に基礎原理の模式図 (1.) (2.) (3.) で説明する。(1.) は空気移動のない従来のエア緩衝システムである。この状態から (2.) (3.) のように連通路開口を変えることで、空気体積変化量を変化させ、加速度を測定した。

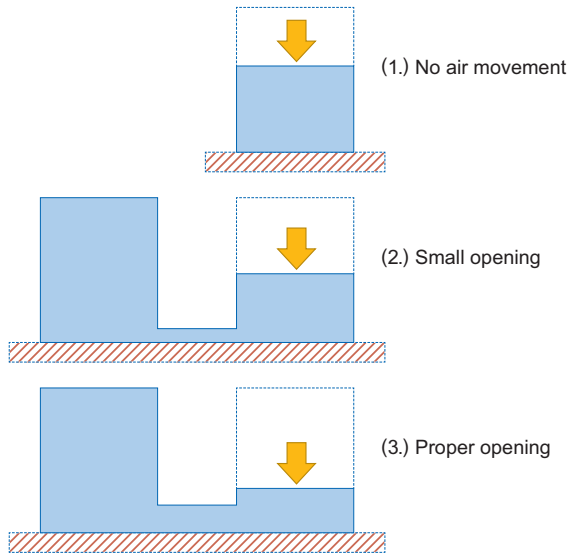


Fig. 3 Schematic diagram.

(1.) is a conventional air cushioning system without air flow. By changing the opening of the channel such as (2.) and (3.), the flow rate is controlled. Acceleration of the dropped object was measured of the moment.

実験としては緩衝材上に加速度計をつけた製品を落下させ、その時の連通路開口率と最大加速度の関係を測定した。Fig. 4 に測定結果を示す。これより、(1.) の従来システムに対し、連通路で空気を移動させる新規エア緩衝システムでは開口率が大きくなるに連れ、加速度が下がり、(3.) のような適切な開口率 (= 空気体積変化量) が存在することがわかった。

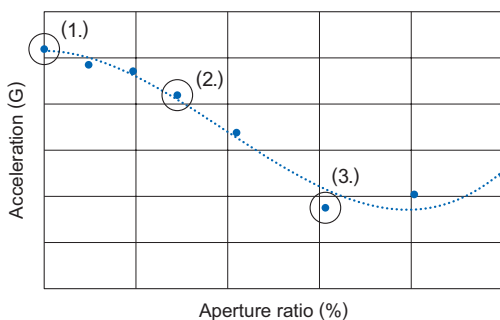


Fig. 4 Relationship between acceleration and opening ratio.

A product with an accelerometer was dropped on the cushioning material, and the relationship between the opening ratio of the channel and the maximum acceleration ratio was measured. Compared to the single cell type conventional system (1.), new air cushioning system that moves air through the channel shows smaller acceleration as the opening ratio increases. It was also found that there is an optimal ratio of opening (= air volume change amount), such as (3.).

## 2.4 システムの効率化

次に、製品が受けるエネルギー、衝撃エネルギー、熱エネルギーの関係について考え、システムの効率化に臨んだ。 $W_i$  を衝撃エネルギー、 $W_c$  を衝撃がエア緩衝材によって熱変換されたエネルギー、 $W_p$  を製品が受けるエネルギーとすると下記の関係式が成り立つ。ここで、 $W_c$  は空気移動抵抗の項と圧縮による項に分かれる。前項は空気が移動するときに連通路抵抗により発生するエネルギー、後ろの項は等温圧縮によって発生するエネルギーを示す。

$$W_i = mgh$$

$$W_c = Pr\Delta V + nRT \log(V/(V-\Delta V))$$

$$W_p = W_i - W_c$$

$m$ : 製品質量  $g$ : 重力加速度

$h$ : 落下高さ  $Pr$ : 連通路抵抗

$n$ : エア緩衝材内の空気モル数

$R$ : 気体定数  $T$ : 温度

$V$ : 初期体積  $\Delta V$ : 空気体積変化量

製品には衝撃エネルギーからエア緩衝材で変換されたエネルギーを引いたエネルギーが加わることとなる。つまり、製品の受けるエネルギー  $W_p$  を少なくするためには  $W_c$  を大きくすればよいことになり、 $W_c$  部分が緩衝システムの性能を決めことになる。この緩衝システムを効率的に活用するには  $W_c$  の両項に効く空気体積変化量  $\Delta V$  を大きくする方法がある (厳密には両項の  $\Delta V$  は同じではないが、圧縮率を高いところで使うので略同等とする) 空気体積変化量はエア緩衝材が押し潰される緩衝距離とエア緩衝材の占める体積量によって決まり、空気体積変化量を大きくするには緩衝距離を伸ばすやり方がある。しかし、これでは包装後の寸法が大きくなり、コンテナやトラックなどの積載効率が悪く、輸送効率低下につながり望ましくない。一方、エア緩衝材を広い面積で受ける形状とするやり方もあるが、この場合、エア緩衝材材料を多く使う為、環境やコストの面から望ましくない。そこで、空気体積変化量を増やす方法は二次的扱いとした。次の方法として、システムの効率をアップするために、 $Pr$  連通路抵抗を上げる手段がある。但し、連通路抵抗を上げすぎると Fig. 4 で示したように、空気体積変化量が少なくなり加速度が大きくなるというジレンマがある。よって、新規エア緩衝システムの効率を向上するためには、連通路抵抗を適正化する必要がある。これに対し、連通路をジグザグ形状に形成することで連通路抵抗を変化させる制御因子を設け、この連通路の幅、長さを設定することで連通路での抵抗を変えることができる。実験は Fig. 5 に示すように傾斜落下装置を用いた。供試品の左にエア緩衝材を設け、連通路の構成を変えながら製品の最大加速度を測定した。各流路の幅、長さなどの連通路構成を変化させ、測定した最大加速度値に対し、品質工学的な解析手法を用いて連通路を適正化した。

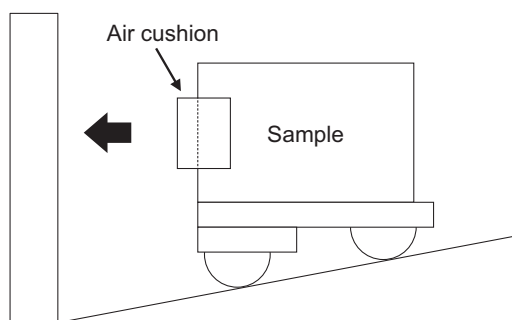


Fig. 5 Inclined impact tester.

The experiment used an inclined impact tester. Air cushioning materials was set on the left side, and the maximum acceleration was measured while changing the configuration of the channel.

確認実験として、初期条件と適正条件の緩衝差異について実験を行った。実験はFig. 5と同じものを用い、エア緩衝材の本数、筒の長さ、中に充填する空気量の条件を変え、傾斜衝撃装置にて落下させたときの最大加速度および空気体積変化量を測定した。Fig. 6に製品の受ける加速度と空気体積変化量との関係を示す。ここで、■は初期条件、●は適正条件を示す。

これを見ると、適正条件は少量の空気体積変化量で緩衝できることを示しており、連通路抵抗の最適化により、緩衝機能が高められることが確認できた。また、この評価手法により、連通路構成の機能評価ができることが判明した。

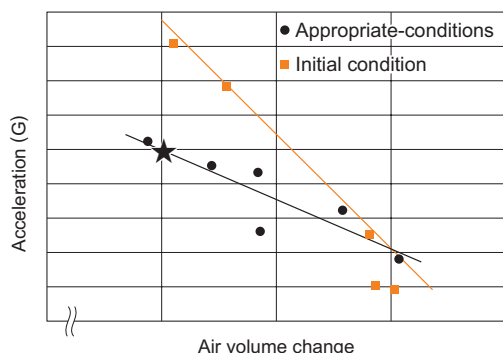


Fig. 6 Relationship between acceleration and air volume change.

The difference of cushioning performance between the initial condition and the optimized condition is shown. Parameters, such as, the number of air cushioning materials, cylinder length, and the filled amount of air were changed. The maximum acceleration and the change of air volume were measured by inclined impact tester. The optimized condition showed better cushioning performance with small air flow. It was confirmed that the cushioning performance was enhanced by controlled air-flow resistance.

以上により、小さい緩衝距離 (= 空気体積変化量が少ない) でも目的の緩衝効果を得ることができ、包装寸法を小さく構成する新規エア緩衝システムを構築することが可能となった。

実際のエア緩衝材構成として、100kg製品に対しては、適正条件の連通路用い、セルの長さ/径をチューニングし、★位置で示す所に設定した。

## 2.5 エア緩衝材の構成

エア緩衝材素材に使用しているフィルム材について説明する。エア緩衝用フィルムの必要要件としては下記が挙げられる。

- ① 空気漏洩し辛い。
- ② 摩耗に対して強い。
- ③ 衝撃に強い。
- ④ 加工しやすい。

今回採用したフィルムは上記の要件を満たすようにFig. 7に示すような樹脂3層構造フィルムとした。

Outer layer	PE: 50 μm
Middle layer	PA: 15 μm
Inner layer	PE: 30 μm

Fig. 7 Film composition.

We used three-layer structure resin film. PE films are thermal adhesive, and they are set on the outer and inner layers which contacts with the product and corrugated cardboard, respectively, to ensure wear resistance. PA film is used as the intermediate layer to suppress air permeation, ensure tensile strength, and prevent tearing.

製品や段ボールに接触する外側層には、耐摩耗性を確保し、フィルム同士を熱融着加工が可能なPE材を設けた。中間層には、空気の透過を抑制するとともに、引張強度を確保し、破れを防止するためPAを用いた。内側層には加工可能なPEを用いた。

次に、エア緩衝材構成を説明する。2枚のフィルムを熱溶着により貼り合わせることで袋状に構成することで内側にエアを貯留できるスペースを確保した。Fig. 8に充填前のエア緩衝材平面図を示す。

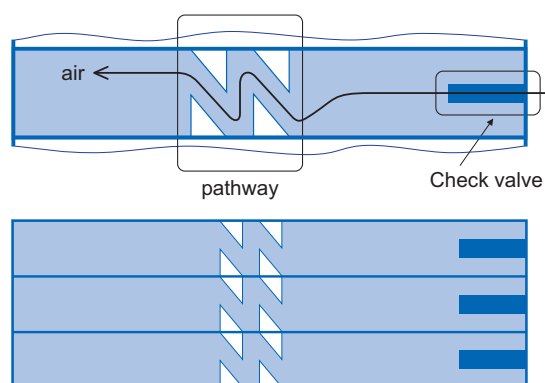


Fig. 8 Plan view of air cushioning material.

A plan view of the air cushioning material before filling is shown. Two cells are connected by zigzag-shaped channel. When air is filled, air is provided through the check valve, and the entire tube is filled through the channel. In order to ensure redundancy against tearing, the air cushioning cells are arranged as many independent elongated tubular bags in parallel.

空気が充填されるセルは連通路を挟んで左右に2つ在り、各々をジグザグ形状の連通路で繋いである。空気充填時は逆止弁を通じて空気が充填され、連通路を介して全体に充填される。尚、エア緩衝材構成としては、破れに対する冗長性を確保するため、セルは独立した細長い筒状形状をした袋が複数並列配置する構成とした。これにより、万が一、空気が抜けても一定の緩衝性を確保できる。

## 2.6 チューニング

次に、製品重量が変わった時のチューニングについて検証した。通常、発泡スチロールの場合、製品が目標加速度に収まるように製品重量をもとに受け面積、発泡倍率、圧縮率(50%~60%)をパラメータとして緩衝設計するが、エア緩衝材の場合は、目標加速度に収めるように変更しやすいセル数やセル長さをパラメータとして、圧縮率が最大でも95%に収まるようにチューニングを行った。実験結果をFig. 9に示す。供試品の重量としては小型、中型、大型のMFPを想定し、(1.) 50kg, (2.) 100kg, (3.) 175kgに設定した。実験はFig. 5と同じ実験装置を用い、供試品の重量と落下高さを変えることで製品に与える衝撃を変えながら製品の最大加速度を測定した。(1.)には軽量設定で本数や長さが少ない設定。一方、(3.)には重量設定で本数も多く、長さも長い設定。(2.)には中間の設定である。

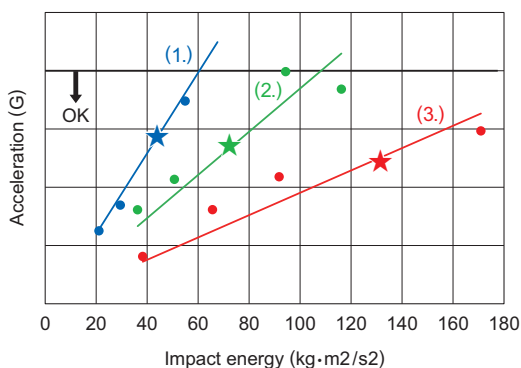


Fig. 9 Relationship between acceleration and impact energy. Assuming small, medium, and large MFPs, the test product weight was set to (1.) 50 kg, (2.) 100 kg, and (3.) 175 kg respectively. The same equipment as in Fig. 5 was used for this experiment, and the maximum acceleration to the test product was measured by changing the height to start dropping. It was confirmed that by adjusting the number and length of cells for each weight, stable cushioning performance is obtained from low impact to high impact. In addition, it was confirmed that each impact observed in our transportation test (indicated by ★) at three weight is less than our internal standard value.

これを見ると、各重量毎にセル本数や長さをチューニングすることで低衝撃から高衝撃まで安定した緩衝効果を得られることが確認できた。また、各重量における当社輸送試験の衝撃(★印で示す)に対しても社内基準値以下の衝撃を得られることが確認できた。以上より、各

製品重量に対応して目標の加速度以下を達成する緩衝機能が確保できることが確認できた。

これにより、軽量品に無駄に本数を使わずとも緩衝でき、また、重量品の緩衝不足も発生しないチューニングが可能であることがわかった。

以上の検討より、緩衝距離20mmで包装寸法を小型化し、かつ、発泡スチロールに比べ体積を99%削減できる新規エア緩衝材システムが構築できた。

## 3 MFPへの適用

### 3.1 適用構成

当社は新規エア緩衝システムをbizhub C360iシリーズに初めて適用した。Fig. 10に緩衝材配置構成を示す。新規エア緩衝システムは衝撃を受けたときに衝撃を熱に変換するシステムのため、常時圧力を受けている底面ではなく、側面および上面に配置した。尚、左上部は外箱との距離を埋めるために段ボール製のスペーサを用いている。

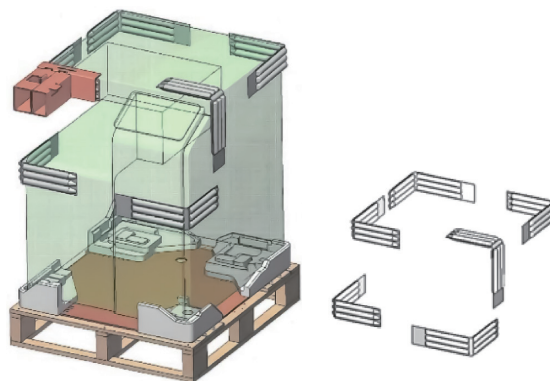


Fig. 10 Layout diagram of air cushioning material. Since the new air cushioning system converts the kinetic energy into heat when it receives an impact, they are placed on the side and top surfaces instead of the bottom surface, where the materials are constantly under pressure. The upper left part is a corrugated cardboard spacer to fill in the large gap from the box.

この構成で当社の輸送試験、およびISTA試験をパスすることができ、量産することに成功した。

### 3.2 得られた効果

この新規エア緩衝システムを2020年の新製品であるbizhub C360iシリーズ以降の製品に適用した。発泡スチロールなどの樹脂製緩衝材の体積に関しては、2005年の製品0.050m<sup>3</sup>/台に対し、bizhub C360iシリーズでは0.008m<sup>3</sup>/台にて緩衝性を確保することで、樹脂製緩衝材体積削減率84%を達成した。重量に関しては、2005年製品の1078g/台に対し、bizhub C360iシリーズ317gで構成し、70%の重量を削減した。この技術を、A3のMFPとしてbizhub C650iシリーズ、bizhub C750iシリーズおよびモノクロ機に展開。A4のMFPとしてはbizhub C4050iシリーズ、bizhub C4000iシリーズおよび

びモノクロ機に展開した。これらにより、運送、在庫、廃棄スペースの大幅削減を達成し、適用機種全部の合算にて、前年比、年間1200tのCO<sub>2</sub>排出量削減目途を付けた。

bizhub C650iシリーズはbizhub C360iシリーズと比べ、標準装備するオプションが異なる派生機種である。従来の発泡スチロールでは機種毎の設計が必要だったが、今回のエア緩衝材では、同じ緩衝材レイアウトを行うことで機能を確保でき、設計工数の削減に貢献した。このように汎用設計ができることで全機種トータルとして包装設計にかかる工数を30%削減できた。将来的に機種をマイナーチェンジした場合でもエア緩衝材の増減、設置位置変更など対応に自由度があるので、容易に設計対応できる。更には、製品開発時、発泡スチロールでは削り出しとなるため試作費用が高額となる。また、発泡状態が量産と異なるという不安定要素があったが、今回開発した量産品のエア緩衝材を継続して用いることで量産品と同じレベルのデータ取りが可能となり、かつ、発泡スチロールでの開発時の半額にも満たない、低コストで開発を行うことができた。

#### 4 おわりに

今回、本システムをMFPに適用したが、今後はエア緩衝材の特徴を生かす事でMFP以外の製品、ひいては外販に向け使用拡大を進め、CO<sub>2</sub>排出量削減に努めていきたい。また、最近の環境動向を鑑み、材料となるフィルム材質の改善や使用量を減らすなど、更なる改善を検討する。

サステナブルな社会実現に向け、社会に貢献できるように継続して努力していきたいと考える。