

# 紙素材食品軟包装の設計指針に関する研究

品質マネジメント研究

5221F016-8 陳愉寧  
指導教員 棟近雅彦

## A Study on a Design Guidelines of Paper Material Food Soft Packaging

CHEN YUNING

### 1. 研究背景と目的

近年、環境負荷に配慮することが重要になっている。これに関して、一般に企業がとる対策としては、3R(Reuse, Reduce, Recycle)が挙げられる。食品に用いられる軟らかいフィルム素材の包装(以下、食品軟包装)の場合は「Reduce」が中心であり、主な具体策のなかで、特に紙素材の活用が注目されている。

紙素材の重量が袋の50%以上になると、紙マークを付けられるが、企業が紙マークを追求するが故に、必要以上に紙の分量を増やしていることもある。しかし、紙マークを付けられる製品(以下、紙マーク製品)が、真に環境負荷を低減できるかに関する検討は、十分に行われていない。

また、食品軟包装において、紙素材包装の開発・製造が取り組まれており、今後も紙原反の種類や、紙製品の数量が増加することが見込まれる。しかし、紙素材食品軟包装(以下、紙素材包装)の開発・製造において、材料特性などが原因である課題に対する対応は、使用経験が少なく十分に検討されていない。また、製品品質と生産効率を確保した上で、適切な工程基準と加工条件を含めた、体系的な設計指針は明らかになっていない。

本研究では、環境負荷を低減できる紙素材包装の開発・製造において、製品品質と生産効率を確保するための適切な仕様条件と、工程基準などを反映した設計指針の導出を目的とする。なお、印刷会社A社を事例とする。

### 2. 研究方法

本研究では、まずライフサイクルアセスメント(以下、LCA)を用いて、A社が製造している従来のフィルム包装および、紙素材包装のライフサイクルにおける環境負荷を試算し、環境負荷が低減できる構成を導出する。つぎに、A社における紙素材包装の製造過程の現状を調査し、確保すべき機能性および製造段階に発生しうる課題と、現状実施されている対応を把握する。

その後、A社の作業日報のデータに関する分析結果に基づき、紙素材包装の機械速度と品質ロスに関するヒアリング調査を通じて、紙素材包装の生産効率や製品品質に影響する要因を把握する。最後に、顧客が紙素材包装を要求した際の確認事項を把握し、環境負荷を低減できる紙素材包装の開発・製造において、製品品質と生産効率を確保するための、適切な仕様条件などの決定に至るまでのプロセスを反映した設計指針を導出する。

### 3. 紙素材包装の環境負荷の検討

#### 3.1. 環境負荷の試算

まず、A社製品の袋Xを対象に、LCAを用いて紙素材包装と従来のプラスチック製品の、ライフサイクルにおける環境負荷を試算し比較した。本研究では、環境負荷をCO<sub>2</sub>排出量とする。評価を行った食品軟包装の構成は、プラスチック製品は「PET12/DL/VMPET12/DL/LLDPE30」、紙素材包装は「紙40g/DL/VMPET12/DL/LLDPE30」(紙マークなし)、「60g/DL/VMPET12/DL/LLDPE30」(紙マークあり)を対象とした。ただし、「PET」、「LLDPE」などは原反の素材、数字は原反の厚みを表す。

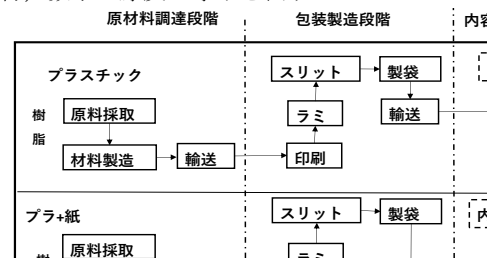


図1. 製品ライフサイクル(一部)

製品ライフサイクルの一部を、図1に示す。図1に示すように、「原材料調達」、「包装製造段階」、「廃棄段階」の各段階を評価の対象とした。また、原材料の製造、輸送、廃棄段階におけるデータはLCAフォーラムのデータベース[1]を、包装製造段階はA社工場の実測データを用いた。評価結果を図2に示す。

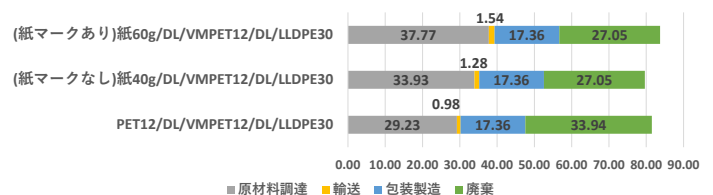


図2. 袋XのCO<sub>2</sub>排出量の試算結果(g/枚)

図2より、従来のプラスチック製品より、紙マークなしの紙素材包装のCO<sub>2</sub>排出量は少なく、特に廃棄段階の削減効果大きいことがわかった。これは、カーボンニュートラルの考え方の中では、紙の燃焼廃棄によるCO<sub>2</sub>排出量は0とみなせるからである。しかし、紙マークを追求し、紙の分量を必要以上に増加させた場合、環境負荷は逆にプラスチック製品を上回った。したがって、紙素材包装は環境負荷を低減できるといえるが、紙マーク製品はそうではない場合があることがわかった。

### 3.2. 環境負荷が低減できる構成の導出

つぎに、環境負荷を低減できる構成の導出を行った。例として、「PET12/DL/VMPET12/DL/LLDPE30」のプラスチック構成を「紙 40g/DL/VMPET12/DL/LLDPE30」のような紙構成に変更する際に、A社が変更できる紙素材とLLDPEの厚みの全組み合わせにおける環境負荷を試算した。その結果を表1に示す。なお、横軸と縦軸は原反の厚み、表の中の数値は、包装一枚当たりのCO<sub>2</sub>排出量を表す。また、太字はプラスチック製品より多くのCO<sub>2</sub>を排出していること、網掛け部分は紙マークが付けられる構成となっていることを表す。

表 1. 異なる組み合わせの構成におけるCO<sub>2</sub>排出量

		LLDPE						
		25	30	40	50	60	70	80
紙素材	10	70.04	73.45	80.29	<b>87.12</b>	<b>93.96</b>	<b>100.79</b>	<b>107.63</b>
	20	72.09	75.51	<b>82.34</b>	<b>89.18</b>	<b>96.01</b>	<b>102.85</b>	<b>109.68</b>
	30	74.14	77.56	<b>84.40</b>	<b>91.23</b>	<b>98.07</b>	<b>104.90</b>	<b>111.74</b>
	40	76.20	79.61	<b>86.45</b>	<b>93.28</b>	<b>100.12</b>	<b>106.95</b>	<b>113.79</b>
	50	78.25	<b>81.67</b>	<b>88.50</b>	<b>95.34</b>	<b>102.17</b>	<b>109.01</b>	<b>115.84</b>
	60	80.30	<b>83.72</b>	<b>90.56</b>	<b>97.39</b>	<b>104.23</b>	<b>111.06</b>	<b>117.90</b>
	70	<b>82.36</b>	<b>85.77</b>	<b>92.61</b>	<b>99.44</b>	<b>106.28</b>	<b>113.11</b>	<b>119.95</b>
	80	<b>84.41</b>	<b>87.83</b>	<b>94.66</b>	<b>101.50</b>	<b>108.33</b>	<b>115.17</b>	<b>122.00</b>
	90	<b>86.46</b>	<b>89.88</b>	<b>96.71</b>	<b>103.55</b>	<b>110.39</b>	<b>117.22</b>	<b>124.06</b>
	100	<b>88.52</b>	<b>91.93</b>	<b>98.77</b>	<b>105.60</b>	<b>112.44</b>	<b>119.27</b>	<b>126.11</b>

表1より、紙マーク製品の多くは、従来のプラスチック製品より多くのCO<sub>2</sub>を排出していることがわかった。さらに、環境負荷が低減できる構成と、紙マーク付きかつ環境負荷が低減できる構成が明らかになった。

このように、LCAを用いることで、紙素材包装の環境負荷を可視化することができ、環境配慮ができる構成を導出することができる。

### 4. 製造工程で確保すべき加工特性と課題の把握

紙素材包装の製造から、充填、輸送、陳列まで、確保すべき加工特性、発生しうる課題、行われている対応を確認するために、A社の包装技士1名、技術者1名にヒアリング調査を行った。

印刷工程の「転移性」を例として説明すると、紙は平滑ではないという特性があるため、インキの紙へのつきが悪く、色むらなどの不具合が発生してしまい、所定の印刷効果が得られなくなる。その結果として、包装のバーコードの読み取りや、設計者の意匠再現に問題が起きる可能性がある。対応策としては、「設計段階で平滑性のある紙を選定する」ことが挙げられる。

また、ヒアリング調査では、どの工程においても、材料特性などが原因で、紙素材包装は品質ロスと機械速度はプラスチック製品より劣っていることがわかった。

### 5. 各製造工程の機械速度と品質ロスの把握

#### 5.1. 紙原反の特徴によるタイプ分け

設計指針を導出するにあたって、A社の紙素材包装の主な取引先4社の製品を対象とし、印刷、ラミネート、スリットの各工程における機械速度と品質ロスについて分析を行った。また、ヒアリング調査により、紙の平滑性などといった紙原反の物理特性が、各工程の機械速度とロス率に影響を与えていることが考えられた。そのため、最初にA社が現在使用している紙原反の種類を調査した。

その結果、紙の特徴により、現在A社が使用している

紙原反を4つのタイプに分けることができた。各タイプの特徴とタイプ分けの結果を表2に示す。

表 2. 紙原反のタイプ分け結果

タイプ	特徴	原反
α	紙・純白、平滑性が高い	a
β	紙・さらし片艶、平滑性は普通	b,c
γ	紙・クラフト、平滑性が低い、茶系統色	d
δ	不織布	e,f

#### 5.2. 機械速度と品質ロスの把握

つぎに、5.1節に示した紙原反が使われている製品の印刷、ラミネート、スリットの各製造工程における機械速度と品質ロスの現状を把握するために、2020年9月1日から2021年8月31日までの一年間の作業日報データを用いて、分析を行った。結果の一部として、印刷工程の機械速度を表3に、品質ロス率を表4に示す。

品質ロスは、必要ロスと異常ロスの2種類がある。必要ロスは、生産に用いる機械の都合上、やむをえず発生するロスである。異常ロスは、ミスやトラブルに起因するロスである。表4に示したのは、必要ロスのロス率である。

表 3. 各原反における印刷速度(m/min)(一部)

原反名	I社	T社	K社	M社
a	150		80~120	80~150
b	100			
c	70~100			
d		80~100		
e		80~100		
f	120~160	120~160		

表 4. 各原反における印刷工程の必要ロス率(一部)

原反名	I社	T社	K社	M社
a	2%~3%		2%~6%	3%~10%
b	1%~3%			
c	1%~3%			
d		0%~5%		
e		2%~5%		
f	2%~3%	0%~7%		

表3、表4に示すように、各原反における印刷工程の機械速度と必要ロス率が明らかになった。また、ヒアリング調査を通じ、設計指針の作成に向けて、各原反における機械速度の代表値を決めた。代表値の決め方としては、表3、表4のような分析結果を用いて、インタビュー調査で工程担当者の意見をもとに、代表値を決定した。

例として、印刷工程における機械速度の代表値を表5に示す。また、必要ロスの品質ロス率の代表値は、各工程1~3%とみなしている。

表 5. 各原反における印刷速度の代表値(m/min)

原反名	a	b	c	d	e	f
代表値	150	100	100	80~100	80~100	150

#### 5.3. 機械速度と品質ロスに影響する要因の把握

5.2節の分析結果をもとに、紙素材包装が各製造工程における最適な機械速度と品質ロスの目安を決定する際に考慮すべき要因について、各工程の担当者2名ずつを対象にヒアリング調査を行った。例として、印刷工程の結果を図3に示す。

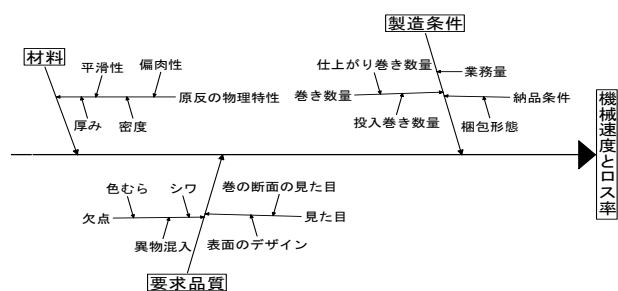


図 3. 印刷工程の機械速度とロス率に影響する要因

図 3 に示すように、印刷工程の機械速度とロス率の目安を決定する際に、「材料」、「製造条件」と「要求品質」の 3 つの要因を考慮する必要がある。「材料」には紙原反の物理特性、原反の幅、加工物の物理特性などが、「製造条件」には納品条件や業務量などが、「要求品質」には取引先が考える製品のデザインや欠点に対する要求の強さから生じる要因などが、それぞれ関わる。

図 3 のように、各工程の機械速度と品質ロスに影響する要因を明らかにすることで、異なる条件下でも、機械速度とロス率の目安を適切に調整することができる。

## 6. 設計指針の検討と導出

### 6.1. 紙素材包装受注時の確認事項の把握

#### 6.1.1. 包装の設計業務の流れ

紙素材包装の開発・製造における設計指針を導出するにあたって、紙素材包装受注時の決定事項、確認事項と、その判断基準を把握する必要がある。そのため、A 社の営業と技術者各 1 名を対象にヒアリング調査を行い、それらを整理した。その結果、包装の設計業務の流れは、

- 1) 基本仕様の決定
- 2) 要求品質の実現条件の決定
- 3) 製造原価の見積もり

であることがわかった。以下で、1), 2), 3)に関するヒアリング調査の具体的な結果を説明する。

#### 6.1.2. 基本仕様決定時の確認事項と判断基準

基本仕様を決めるにあたっては、A)基本材質構成、B)包材の要件、C)印刷品質に見合う詳細要件を順に検討する。各決定事項における確認事項を、以下で説明する。

##### A)内容物の確認

最初に、内容物の確認を行う。それは、内容物の種類、形と温度により、袋が担保すべき機能性が異なるため、使用されるフィルムも異なるからである。異なる内容物における紙・フィルムの基本材質構成の判断基準を、表 6 に示す。また、内容物の重さにより、シーラントフィルムの厚みが決められる。その判断基準を表 7 に示す。

表 6. 内容物による紙/フィルムの基本材質構成

内容物		シーラントフィルム	機能性フィルム	印刷フィルム/紙
食品	固体	常温	CPP, LLDPE	PET, OPP, 透明蒸着PET, 紙 (αβγ)
		冷蔵、冷凍		
粉末	常温	LLDPE		
非食品	固体	常温	CPP, LLDPE	
	粉末	常温	LLDPE	

表 7. 内容物の重量によるシーラントフィルムの厚み

内容物の重量(g)	シーラントフィルムの厚み	
	CPP	LLDPE
200~300	25	25
300~400	30	25
400~500	40	30
500~600	40	40
600以上	50	50

また、内容物の確認と同時に、現行品の有無を確認することが多い。プラスチック製品を紙素材包装に変更する場合は、フィルムの基本材質構成は現行品のままで、フィルムの一部を紙に変更すればよい。

##### B)充填方式と流通形態の確認

つぎに、包材の要件を決めるにあたって、取引先に納品後の充填加工方式と、充填後の流通形態を確認する必要がある。取引先に納品する際には、ロール納品と袋納品がある。ロール納品の充填加工は全て機械詰め、袋納品は手詰めと機械詰めがある。機械詰めの場合は、内容物の形状や重さにより、袋が破れる可能性があるため、袋のコシを強めにする必要がある。具体的な確認事項としては、内容物の重量、充填時の機械のスピード、袋の形状などが挙げられる。それに関連する物理特性はコシ、滑り性などが考えられる。製品によって、確認事項の重要度が異なるため、それらの項目と関連する物理特性を確認し、原反の種類や厚みを調整していく。

流通形態を確認する目的は、製品が流通時の詰め方、運び方により、流通テストの実施や仕様の再検討を行う可能性があるからである。具体的な確認事項としては、梱包形態や、流通する際の温度条件や、気圧、荷重。それに関連する物理特性としては、耐摩擦性、シール強度、引張強度などが挙げられる。

##### C)印刷品質に関する確認

さいごに、印刷品質に見合う詳細要件を検討する。この段階では、顧客の製品の見た目・印刷品質の要求の有無、紙マークの有無、環境配慮に関する要望の有無を確認し、紙とフィルムの貼り合わせ順と、紙原反の厚みと種類を決定する。顧客が紙マークを要求する場合は、3章で利用した環境負荷試算ツールを用いて、顧客の要望に合う紙原反の厚みを算出する。紙素材包装の基本仕様が決められたあとに、最初に戻って再確認をし、調整が必要な場合は再調整を行う。

#### 6.1.3. 要求品質の実現条件決定時の確認事項と判断基準

基本仕様を決めたあとに、社内で行う工程を確認し、要求品質の実現のための製造条件の検討と確認を行う。紙原反のタイプや原反の厚みにより、生産時に注意すべき加工特性や発生しやすい課題が異なる。具体的な内容は、4章に示した。

例えば、タイプγの紙は平滑性が低いため、インキのつきが悪く、通常は用いないので、顧客から指定された場合は、事前に印刷品質を確認してもらう必要がある。スリット段階では、毛羽たちや、紙粉がほかの原反より出やすいため、カット性を重視し、刃の更新や品質ロス率を多めに見積もる必要がある。



### 6.1.4. 原価見積時の確認事項と判断基準

さいごに、5章でまとめた機械速度とロス率に影響する要因、巻き数量や原反の種類などを考慮し、また機械速度とロス率の目安から、工程ごとの機械稼働率を推測し、製造コストを試算する。そして、製造コストに変動費、固定費と利益を推定して、最終的に見積価格を顧客に提示する。

### 6.2. 設計指針の導出

6.1節で検討した内容をもとに、思考プロセスを設計指針（以下、誤解のない場合には指針と略す）として導出した。それをフローチャートを用いて可視化した。その結果の一部を図4に示す。

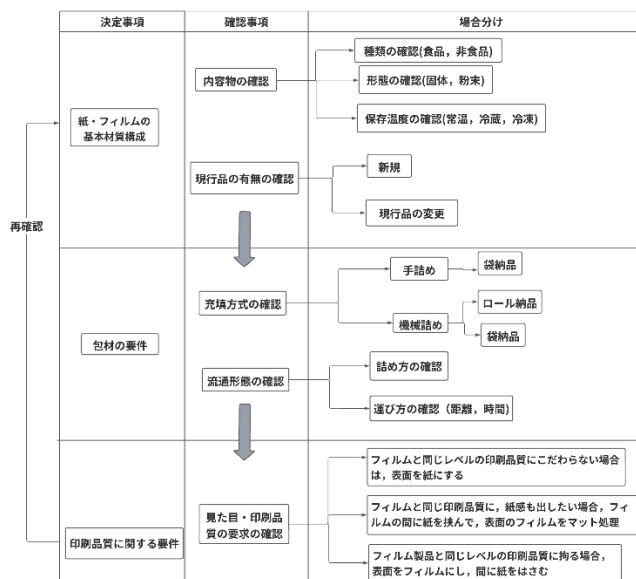


図4. 設計指針のフローチャート(一部)

この指針は、以下のように活用できる。

- ① 指針には、包装設計を行う際に決定すべき事項と、それに対応する確認事項、場合分け状況と判断基準などの設計情報が示されているので、取引先毎に異なる要求を踏まえた製品設計の検討を行ったり、迅速に原価を見積もることができる。
- ② この思考プロセスに沿って、原反の種類や機械の更新などの情報を蓄積、更新していくことで、フローチャートの精緻化が期待できる。
- ③ 現場の技術者と情報を共有することで、営業と現場の技術者の認識ギャップを埋められる。
- ④ 営業経験が浅い新人でも、この指針と判断基準を用いることで、取引の標準化ができ、その場で取引先に仕様を提案するといった活用も考えられる。これにより、提案型の営業が可能となり、A社主導の製品設計・開発を行うことができる。

### 7. 検証

指針の有用性と汎用性を検証するために、本研究の取り組みに関与していないA社のベテラン技術者3名と、営業3名を対象に、指針に関するヒアリング調査を行った。その結果、製造工程に発生しうる課題と対応、機械速度とロス率に影響する要因、紙素材包装の製品設計・工程設計

を行う際の思考プロセスは適切であり、実務にも有用であるなどの意見が得られた。また、今回のように、紙素材包装の包材設計、工程設計の考え方を系統的に整理する試みは、これまで検討したことがないものであり、包材の設計に限らず、一定の汎用性があることもわかった。

ただし、指針における判断基準は、まだ抽象的な部分があり、実務の中でより有効に活用していくためには、案件ごとの流通条件や納品形態などの情報が記載されている実績表を作成する必要がある。

### 8. 考察

本研究では、紙素材包装の開発・製造において、包装の環境負荷を低減し、品質と生産性を確保するための、適切な仕様条件と工程基準を決めるための指針を提案した。これまで、A社に限らず、業界を通して包装設計の流れと確認事項などが断片的に書かれた文献はあるが、体系的なプロセスは整理されていなかった。そのため、効果的、効率的に、しかも利用者が変わっても、包装設計ができるようにするためには、検討すべき全体の項目について、思考プロセスの形で記述することが有用と考えられる。本研究では、現場の技術者と営業を対象にヒアリング調査を行い、具体例を設計業務の流れと確認事項を整理した。

また、本研究の指針は、発生する可能性のある不具合を設計・開発の初期段階で予測できるため、早期に対策が可能となり、修正によるコストを減少させることが期待できる。さらに、適切な製造コストで生産するための工程基準を設定し、紙素材包装を安定的に供給できる体制を構築することができる。

現在、紙素材食品軟包装の普及率が低く、A社が実際に扱ってきた事例も多くないが、いままでのA社の生産実績と技術者が持つ知見を可視化するというプロセスをふむことで整理することができた。そのため、新たな紙素材包装の受注時や、紙原反の種類や厚みが増える場合にも、本研究で整理した内容をふまえて、量産安定性を見越した仕様を、製品の設計段階で作り込んでおくことができ、これからの紙素材包装の普及につながると考えられる。

基本仕様を決める段階では、LCAの試算ツールを用いることで、常に環境負荷を可視化し確認でき、真に環境にやさしい構成を導出することが可能となる。また、本研究の試算方法をもとに、紙マークの基準の有用性を再検討することができる。

### 9. 結論と今後の課題

本研究では、環境負荷を低減できる紙素材食品軟包装の開発・製造において、製品品質と生産効率を確保するための、適切な仕様条件などの決定に至るまでのプロセスを反映した設計指針を導出した。

今後の課題として、設計指針の精緻化や、判断基準の具体化などが考えられる。

### 参考文献

- [1] JLCA データベース,  
[https://lcaadb.lcaforum.org/lca/Servlet/Default?command=lca\\_search](https://lcaadb.lcaforum.org/lca/Servlet/Default?command=lca_search), 最終アクセス日:2022/12/2