

軽量ステアリングホイールの開発

村井孝光^{*1}, 百鬼 聡^{*2}, 三輪 肇^{*2}

Development of Lightweight Steering Wheel

Takamitsu Murai^{*1}, Akira Nakiri^{*2}, Hajime Miwa^{*2}

要旨

近年、車両の燃費向上のニーズが高まる中、車両の軽量化は燃費向上に対して有効な手段のひとつである。ステアリングホイールについても軽量化が求められており、今回その軽量化技術を開発した。具体的には主要構成部品であるグリップ部と芯金について検討を行い、グリップ部についてはポリウレタンフォームの低比重化を材料配合から開発し、現行量産品同等の硬度や耐久性といった性能を確保した。また芯金についても、薄肉化により、剛性を維持したまま軽量化を達成した。

Abstract

In recent years, vehicle lightweight has come to be considered one of the most effective means of improving fuel efficiency. Lightweight steering wheels are also demanded, and we have developed technology for lightweight steering wheel. We investigated the grip section and spokes, respectively. Low density polyurethane foam for the grip was achieved by formulation of technology that maintains performance and durability equivalent to existing mass products. A thin spoke structure that maintains stiffness was also achieved.

1. はじめに

19世紀末に発明された自動車は、20世紀の100年間で一大発展を遂げ、現在では自動車なくして我々の生活は成り立たない状況に至っている。

一方で近未来の自動車に対しては「温暖化防止などの地球環境保護対策」と「枯渇資源保護・延命化対策」が緊急の課題となっており、温暖化を防止するためにCO₂排出量の削減が望まれている。

輸送機におけるCO₂排出量では、乗用車やトラック、バスなどの自動車が90%程度を占めており、自動車のCO₂排出量の削減と燃料消費の抑制が非常に重要であり、自動車の燃費を向上させる取り組みが行われている。そのひとつとして、自動車を軽量化することは燃費向上に非常に有効な手段である。

2. ステアリングホイールの軽量化

ステアリングホイールは自動車部品の中でも古くからある部品であり、マンーマシンのインターフェースとしての重要度も高いため、今後もあり続ける部品のひとつである。そのため、その軽量化は自動車全体の軽量化への重要性も高いと考える。

ステアリングホイールの基本的な構成としては、図-1に示すように強度部材としての芯金、操舵部としてのグリップ部、意匠としてのロアカバーである。

初期のステアリングホイールは、銅板や鉄中空パイプ等を溶接で組合わせた芯金に、ポリ塩化ビニルやポリプロピレン等の樹脂でグリップ部を構成したものであった。

その後、グリップ部の材質としてより軽量、高触感なポリウレタンフォームが登場し、近年は芯金材質としては軽量のAl合金やMg合金のダイカスト製が主流となっている。

*1 セーフティシステム技術部 セーフティシステム第1技術室

*2 材料技術部 樹脂材料技術室

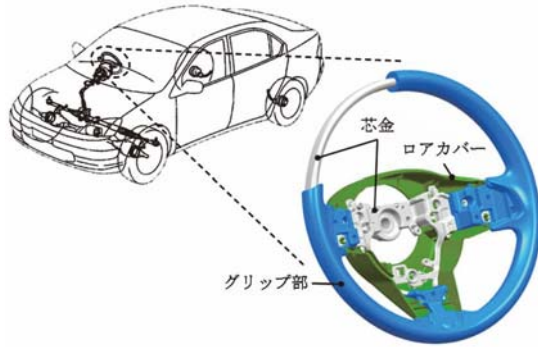


図-1 部品構成

以前からステアリングホイールにも軽量化のニーズはあったものの、一方でステアリングホイールの重要特性のひとつである慣性モーメントは操安性確保の観点から大きく下げることができなかった。

慣性モーメントは芯金やグリップ部の重量により大きく影響を及ぼされる。そのため軽量化には制約があった。

しかしながら近年、EPS（電動パワーステアリング）等の車両側の改善により、ステアリングホイールの慣性モーメント低減が可能になったため、軽量化開発に着手した。

3. ステアリングホイールの材料、工法

3-1. グリップ部

ステアリングホイール用ポリウレタンフォームは、RIM（Reaction Injection Molding）工法で成形されるインテグラルスキンフォームである。

図-2はRIM工法の概要図である。インテグラルスキンフォームは表層部に高比重なスキン層、中心部では低比重なコア層が形成される。この構造により、重要品質である耐摩耗性の発現と弾性のある触感を表現している。

ポリウレタンフォームの主原料はポリオールとイソシアネートである。ポリオールとイソシアネートはともに液体で、この2液を混合攪拌すると、直後からポリマーの重合と発泡反応が同時に進行し、硬化が完了してポリウレタンフォームが得られる。重合と発泡の化学反応式を図-3に示す。

次にステアリングホイールの製造工程について概要を以下に記述する（図-4）。

- ① 金型に離型剤と塗料を塗布する（インモールドコート）
- ② 芯金をセットし、金型を閉じる
- ③ ポリオールとイソシアネートをミキシングヘッドで衝突混合し、型内に注入する
- ④ 所定時間の硬化後、金型を開けて製品を取り出す

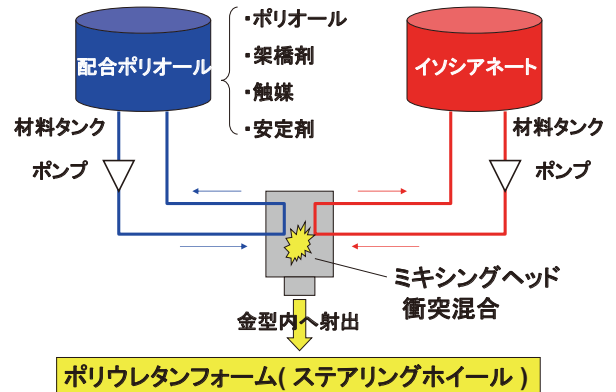


図-2 RIM工法の概要図

重合反応



発泡反応

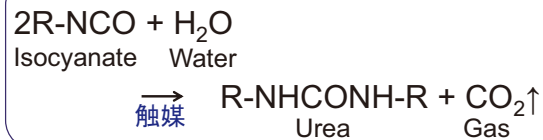


図-3 ポリウレタンの重合と発泡の反応式

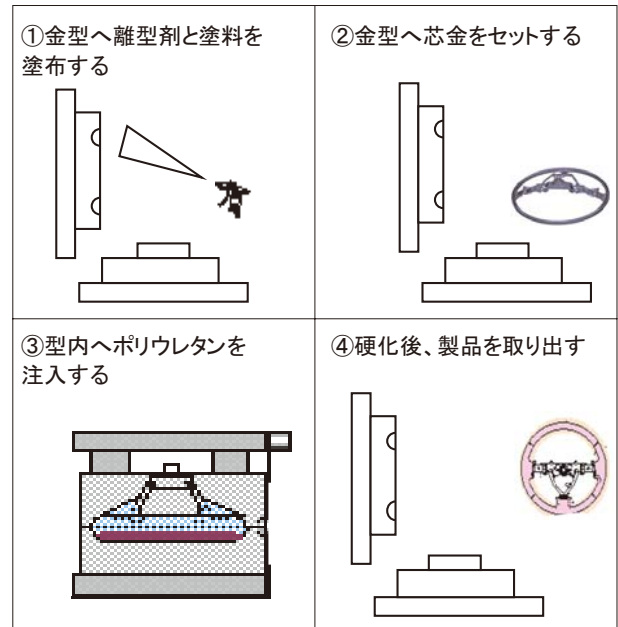


図-4 ステアリングホイールの製造工程

ポリウレタンフォームの発泡は、かつてはフロン、代替フロンなどを発泡剤に用いる手法が用いられた。しかし環境保全の目的から代替発泡剤へシフトし、他にも様々な発泡方法が開発されてきた。主な発泡方法を表-1に示す¹⁾。現在では多くの場合、水発泡が用いられており、豊田合成でも、この手法を採用している。

表ー 1 ポリウレタン発泡手法

考え方	発泡方法	発泡助剤
化学反応により気体を発生させる (化学発泡)	NCOと水の反応によるCO ₂ が発泡	水
	NCOとアミン炭酸塩の反応によるCO ₂ が発泡	アミン炭酸塩
	POLに添加した化学発泡剤が発泡	重曹など
気化する成分を添加する (物理発泡)	POL中に溶存したガス成分が発泡	空気
		CO ₂
	POLに添加した物理発泡剤が発泡	フロン、代替フロン
		カプセルビーズ

3-2. 芯金

芯金には通常操舵時には容易に変形しないことや、疲労破壊しないことが求められる。一方で、車両衝突時には適切に変形することにより、乗員へあたえる衝撃荷重をやわらげたり、その際の衝撃により容易に折損しないという特性が求められる。

そのため、豊田合成では芯金材質としてAl合金やMg合金を中心に使用しており、ダイカスト成形により製品形状を形成している。

4. 開発のコンセプト

本開発では、世界トップクラスの軽量ステアリングホイールを実現するため、現行量産比10%以上の質量低減を目標とした。

グリップ部は意匠デザインにより材料使用体積が決まるため、材料であるポリウレタンフォームの低比重化を手法とし、芯金は形状見直しによる軽量化をコンセプトとした。

ポリウレタンフォームの低比重化における開発課題を以下に述べる。ステアリングホイールは常に運転者の手に触れ、またフロントガラス近傍にあるため高温や直射日光など、過酷な環境下に曝される部品である。すなわちグリップ部の硬度(触感)、外観、操舵性ととも、経年劣化への耐久性が求められる。

ポリウレタンフォーム樹脂部分の骨格には、ポリオールに由来するソフトセグメントと、イソシアネートや架橋剤に由来するハードセグメントが存在し、この構造が硬度、強度や耐久性をはじめとした材料物性と密接に関係している。

以上から、現行量産材同等の物性、耐久性を目標とした本開発の配合設計コンセプトを図-5に示す。

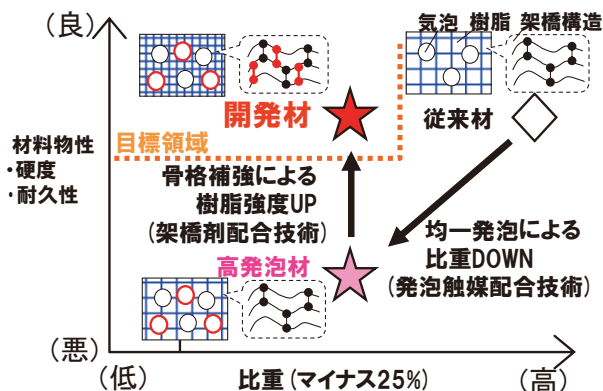


図-5 配合設計コンセプト

現行量産材の高発泡低比重化は発泡配合設計により達成可能であるが、樹脂部分の減少により硬度、強度、耐久性いずれも低下するため、これらの改良を検討した。

また、インテグラルスキンフォームのスキン層確保による耐摩耗性、耐久性の確保も実施した。

評価指標としては、一次性能に硬度、グリップ強度、耐摩耗性を、また耐久性として耐熱、耐湿、耐光劣化を用いた。

次に、芯金形状の見直しによる軽量化には、主要特性のひとつである剛性を確保したまま軽量化することが必要となる。そのため、曲がりにくさを示す指標である断面二次モーメントを維持したまま、薄肉化を実施することが重要となる。芯金には、運転席エアバッグや各種スイッチ、ダンパー等が取り付けられるため、それらの取付けのための構造やスペースも考慮しながらの対応検討を行った。

5. ポリウレタンフォームの低比重化

本開発では、ポリウレタンフォームの高発泡低比重化手法として、従来の水発泡技術の応用展開を行った。

ポリウレタンフォームの代表的な配合を表-2に示す。樹脂主骨格はポリオールであるポリプロピレングリコールとイソシアネート、架橋剤から

表-2 代表的なポリウレタン配合

ポリウレタン配合材料	配合量 (部数)
ポリオール (PPG など)	70 ~ 90
グリコール系架橋剤	5 ~ 25
アミン系触媒	0.5 ~ 2.0
シリコーン整泡剤	0.5 ~ 1.5
水	0 ~ 2.0
顔料	10 ~ 20
MDI系イソシアネート	60 ~ 80

なり、さらに、これらの重合、および水との発泡反応を促進するための触媒、発泡セルを安定化させるための整泡剤などが添加される。

発泡反応を促進させる触媒は様々な種類があり、検討に使用した代表的な触媒を表-3に示す²⁾。これらを適切に組み合わせることによって、イソシアネートと水を選択的に反応させることに成功し、比重として現行量産比マイナス25%を達成した。

表-3 検討触媒一覧

触媒種類	反応定数 (×10 ³)		
	樹脂化	泡化	泡 / 樹脂比
BDMEE	4.79	18.7	39
PMDETA	7.39	27.6	37.3
DMAEE	2.45	3.4	13.9
TMAEEA	4.23	6.33	15
TEA	1.17	0.61	5.18

低比重化による硬度、強度低下は、樹脂部分のハードセグメント増強により補強した。

フォームのスキン層については、ポリウレタン重合反応の配合設計、金型温度など成形条件の最適化により、目標性能を満足するスキン層密度、厚みを確保することに成功した。

得られたポリウレタンフォームの断面を図-6、7に示す。

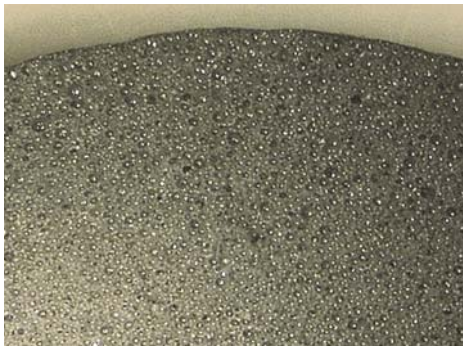


図-6 ポリウレタンフォームの断面写真 (実体顕微鏡)

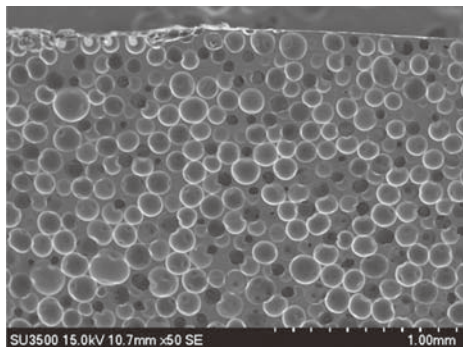


図-7 ポリウレタンフォームの断面写真 (電子顕微鏡)

6. グリップ部の性能

低比重化したポリウレタンフォームからなるグリップ部は、前述のとおり樹脂部分のハードセグメント成分を増強して骨格構造を強化し、硬度として Shore A 58 を達成した。

その他、耐久性を含めた性能についても目標を満足した。グリップ強度は現行比10%向上し、耐摩耗性および耐久性は現行量産品と同等性能を確保した。結果を表-4に示す。

表-4 低比重ポリウレタングリップの性能

製品性能	開発材	高発泡材
硬度	ShoreA58	ShoreA45
グリップ強度	110(指数: 現行 100)	50
耐摩耗性	摩耗痕なし 	摩耗痕あり 
耐温度劣化	劣化なし	劣化やや著しい
耐湿度劣化	劣化なし	劣化やや著しい
耐光劣化	劣化なし	劣化やや著しい

7. 芯金薄肉軽量化

芯金形状の見直しにあたっては、断面二次モーメントを維持したまま軽量化を実施することが重要である。そのため、グリップ部の芯金断面形状の事例(図-8)のように、従来に対し製品肉厚


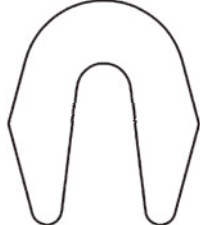
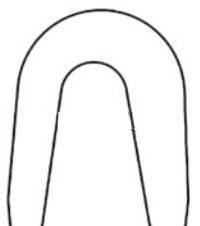
	断面形状 	断面二次モーメント	断面積
従来芯金		100	100
軽量芯金		100	90

図-8 芯金軽量化

を薄肉にし、高さを確保することで断面二次モーメントを維持しつつ軽量化することで、現行量産品と同等の剛性を確保（図-9）した。

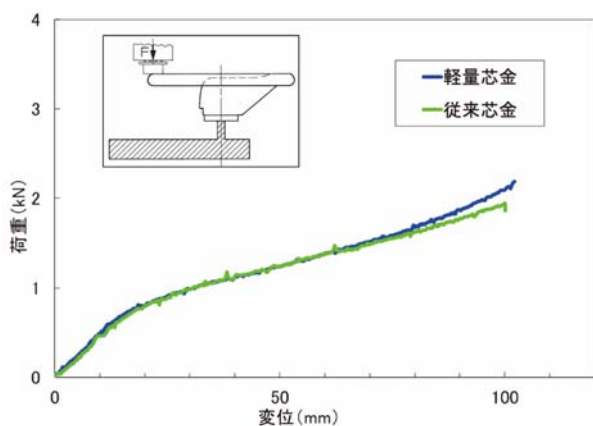


図-9 ステアリングホイール剛性

但し、芯金を薄肉にすると一定体積に対して金型に接する面積が増えるため、ダイカスト成形時の溶湯温度が下がりやすい。そのため材料の流動性が悪化するという背反があり、材料の充填不足の原因となる。それを解消するために製品形状と成形面の2つの観点で対策を行った。

製品形状ではゲートから溶湯の最終到達部までを可能な限り均一肉厚設計とすることで、溶湯の流動抵抗を減らし流動性の悪化を防止する（図-10）。

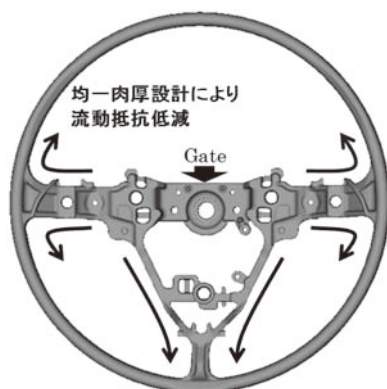


図-10 芯金の均一肉厚設計

一方、成形面では体積あたりの表面積が増加することによる熱損失増加の差分だけ射出時の溶湯温度を上げる必要があるが、溶湯汲み出し時の温度を変えずに射出時溶湯温度を上げるような工夫をすることで、流動性悪化の背反を解決した。

以上より、性能と成形性を両立したまま質量マイナス10%を達成した。

8. まとめ

今回の開発では、ウレタン材料の比重を25%、芯金の質量を10%低減することにより、耐久性や触感、剛性を現行量産品同等レベルを維持したままステアリングホイールの質量を現行量産品比で約14%低減した（図-11）。

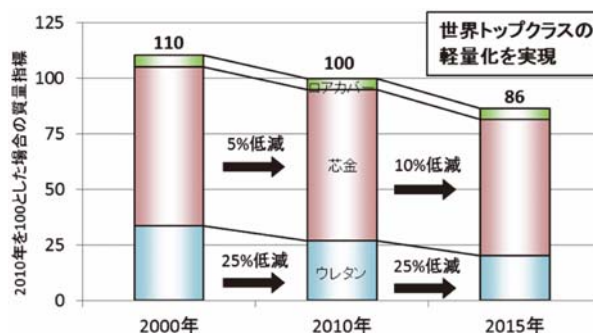


図-11 軽量化結果

今回開発した技術は豊田合成のグローバル製造拠点で適用可能なものである。今後、主力ステアリングホイールとして適用拡大していく。

謝辞

本技術開発に関わって頂いた多くの関係者の皆様に深謝致します。

参考文献

- 1) 松永勝治：ポリウレタン創製への道－材料から応用まで－，シーエムシー出版，2005，p.90-94
- 2) 岩田敬治：ポリウレタン樹脂ハンドブック，日刊工業新聞社，1987，119p
- 3) 今井嘉夫：ポリウレタンフォーム，高分子刊行会，1987，141p

著者



村井孝光



百鬼 聡



三輪 肇