

熱硬化性樹脂に関する 調査報告書（抜粋）

合成樹脂工業協会
環境・リサイクル研究部会

平成21年3月31日

この報告書は、合成樹脂工業協会 環境・リサイクル研究部会がみずほ情報総研株式会社に調査委託し、まとめさせたものである。手作業の大半は該社に依存したが、調査全体計画の立案、熱硬化性樹脂の専門的知見や資料の提供、アンケート、ヒアリング先の指定や同行、調査結果の評価に関する議論では、環境・リサイクル研究部会が関与しまたは主体となって進めたものである。

この資料はその抜粋である。

本 編 目 次

要約	I
1. 背景と目的	1
2. 調査方法.....	2
3. 21世紀の社会変化と求められる技術を探る（ニーズ）	5
3.1. 方法.....	5
3.2. 結果.....	6
3.2.1. 社会変化.....	6
3.2.2. 求められる技術.....	6
3.3. 考察.....	16
3.4. 結論.....	17
3.4.1. 将来の社会変化.....	17
3.4.2. 求められる技術.....	21
3.4.3. 熱硬化性樹脂に影響してくる要素.....	28
4. 熱硬化性樹脂の使用事例や強み・弱みとなる特性の把握（シーズ） —アンケート ..	31
4.1. 方法.....	31
4.2. 結果・考察.....	37
4.2.1. 熱硬化性樹脂の使われる自動車部品	37
4.2.2. 熱硬化性樹脂の強み・弱みの把握.....	47
4.2.3. 熱硬化性樹脂に今後期待される機能.....	51
4.3. 結論.....	57
5. 熱硬化性樹脂の強み・弱みの背景（シーズ） —ヒアリング	62
5.1. 方法.....	62
5.2. 結果・考察.....	64
5.2.1. 強みを活かすにはどうするか.....	64
5.2.2. 強みを活かし、弱みがネックにならないようにするにはどうするか、弱みをどう解決するか	65
5.3. 結論.....	68
6. 強みを活かす方向性の定量的評価（シーズ） —LCA	70
6.1. 方法.....	70
6.2. 結果・考察.....	72
6.2.1. 金属とCFRPの比較.....	72
6.2.2. CFRPのマトリックスとしての熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂の比較.....	74
6.2.3. 成形方法の比較.....	75
6.2.4. リサイクル方法の比較.....	75
6.2.5. その他の比較.....	76
6.2.6. 参考：コストの検討.....	76
6.3. 結論.....	77
7. 熱硬化性樹脂の技術開発と活用のあり方.....	80

付属資料 1：熱硬化性樹脂の今後の可能性についてのアンケート

付属資料 2：ホイールの LCA

付属資料 3：ヒアリング先一覧

「熱硬化性樹脂に関する調査報告書」は、前頁に目次を記載した本編と上記の 3 つの付属資料によりなる。

この抜粋資料は、本編から 3 つの付属資料すべてを通したものの抜粋である。

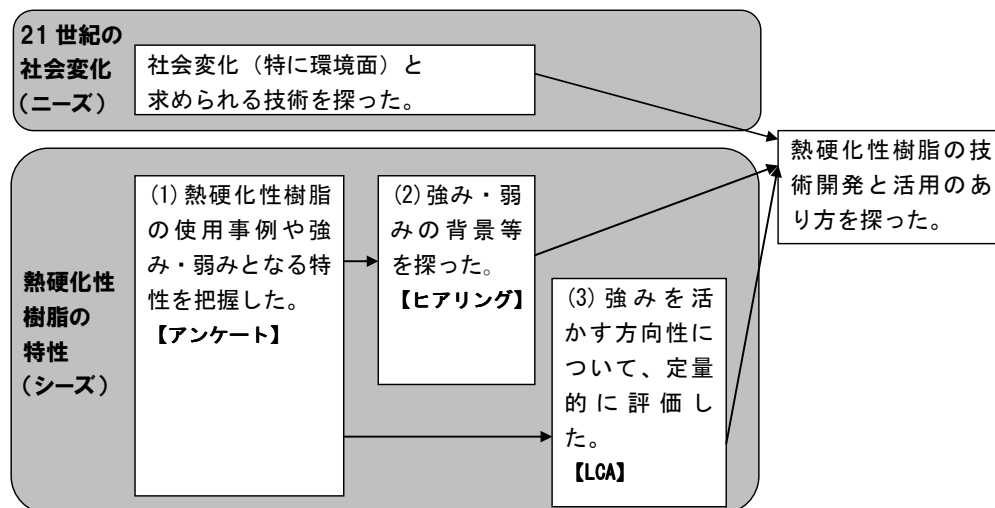
要約

熱硬化性樹脂は、その優れた特性により電気・電子製品や自動車等の高機能製品に組み込まれ、社会に広く役立っている。しかし、近年、熱可塑性樹脂の高度化が進み、熱硬化性樹脂としての新たな市場開拓や広報宣伝等の戦略が必要となっている。一方、21 世紀は資源・エネルギー・環境制約が顕在化すると予想され、これらを克服する技術を開発していけば、熱硬化性樹脂が世界をリードできる可能性がある。

そこで本調査は、合成樹脂工業協会の活動目的をふまえて次の目的で実施した。

- ・熱硬化性樹脂の使用事例等を広く収集し、強み等を抽出する。
- ・金属や熱可塑性樹脂といった他材料と比較した場合の熱硬化性樹脂のメリットを定量的に評価する。
- ・上記をもとに、将来の熱硬化性樹脂のあるべき姿、合成樹脂工業協会のとるべき戦略を考察する。

以上の目的を達するため、本調査は、21 世紀の社会変化（ニーズ）と熱硬化性樹脂の特性（シーズ）の両面から、下記手順で実施した。



なお調査にあたっては、熱硬化性樹脂の使われる一製品をケーススタディとして取り上げることとした。ケーススタディとしては、日本の国際競争力が強く重点的に R&D すべき分野である自動車を選定することとした。

調査結果について、以下に要約する。

ニーズ

21 世紀の社会変化（ニーズ）の面から、求められる技術を探った。

【社会変化】（図表 0-1 参照）

- ・将来、環境・資源・エネルギー制約や高齢化が予想される中、人にも環境にも優しくサステイナブルな社会を目指していくこととなると考えられる。具体的には次のとおりである。

	これまで	将来
(1)	物理的な豊かさや効率の重視から	精神的な豊かさや感性の重視へ
(2)	大量生産・大量消費・大量廃棄から	省資源・省エネルギー・環境配慮等のサステナビリティを実現していくため、必要な量だけ生産、必要な量だけ消費し、リサイクルしていく方向へ
(3)	画一的製品・サービスから	多様化するニーズに応える製品やサービスへ（特に、高齢者や女性の社会進出等の社会の変化に応える）

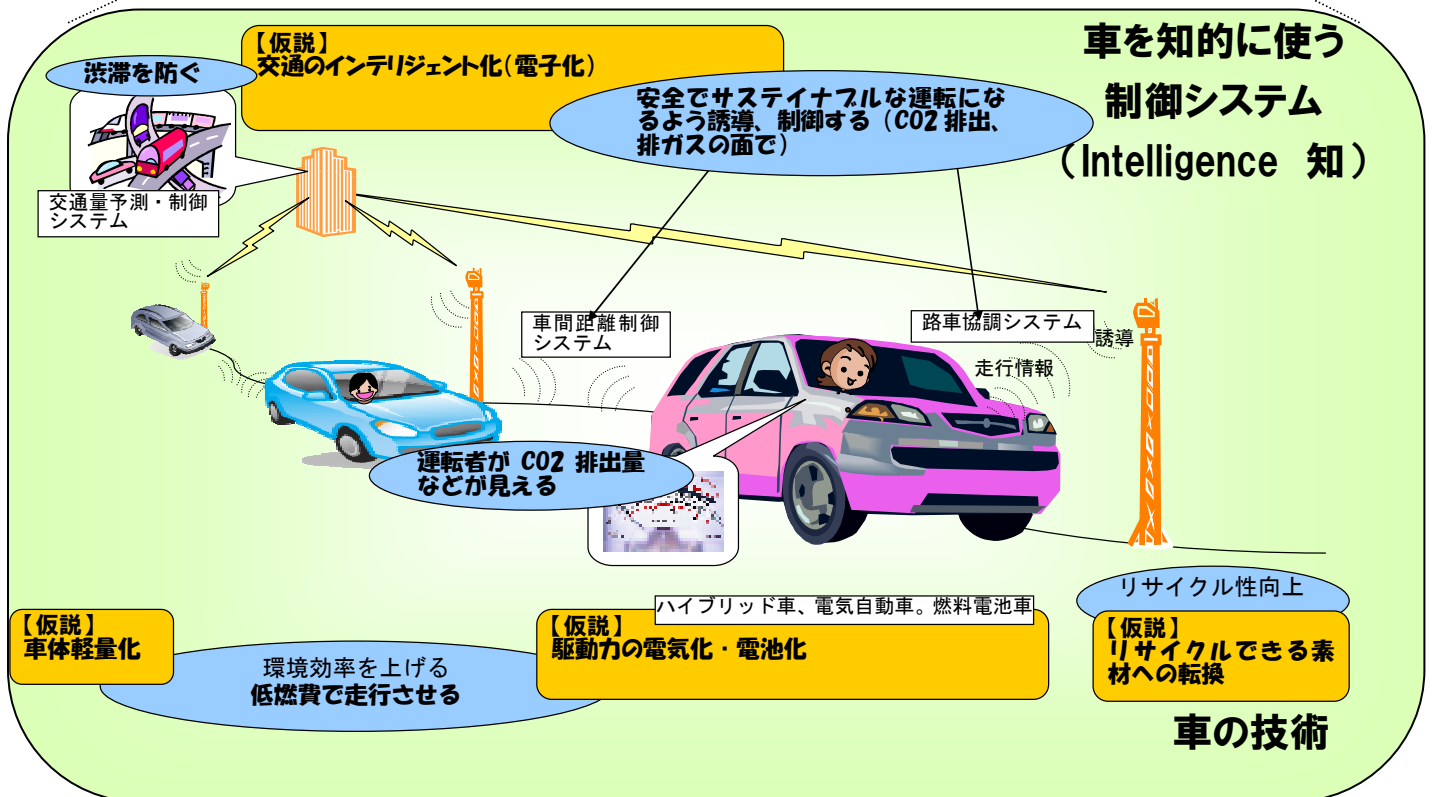
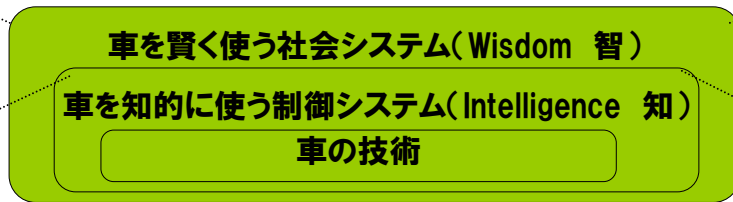
- ・しかし上記のうち、(3)の多様化するニーズに応えることは、(2)と対立することもあると思われる。例えば、多様な製品を好きなときに享受できる社会を追及していくと、資源やエネルギーの無駄が生じてしまう。これは、個々の「製品」レベルの技術だけで解決する問題でない。本当に必要なニーズが何なのかという価値観の転換とともに、ニーズと生産物とを結びつけ、最適に調整していく「社会システム」が必要である。

【技術】

- ・そこで本調査では、将来の社会変化に応える技術について、次の3つに分類した。



- ・上記3技術をブレイクダウンするとともに、自動車の場合に求められる技術について仮説を立てた（図表 0-2～図表 0-3 参照、仮説はポップ字体で示す）。



みずほ情報総研(株)作成

図表 0-3 社会変化に応える技術(自動車の場合)

- ・以上の自動車の仮説から、熱硬化性樹脂に影響してくる要素は、次のとおりである。

電子部品が増える	・交通のインテリジェント化が進み、自動車や道路等に各種の制御システムが設置されるようになると、搭載される電子部品が多くなる。	・熱硬化性樹脂の【電気的特性】は、有利になる。
高度化したモーターや電池が使われる	・駆動力の電気化・電池化（ハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車等）により、モーターや電池の役割が増し、高度化する。	
軽量化しても安全が保たれやすい用途がある	・高齢者や女性のための小型車や1人乗り自動車、近隣の配達等のための電気自動車のように、 <u>スピードが要求されない用途</u> では、安全が保たれやすい。	・将来の自動車の軽量化の中で、熱硬化性樹脂の【軽量性】は有利だが、【強度】では不利になるおそれがある。しかし左の用途であれば、必ずしも不利にならない。
多品種少量になる	・上述のように様々な自動車が使われ、多品種少量生産になる。	・熱硬化性樹脂の【加工生産性】が金属や熱可塑性樹脂より高くなくても、必ずしも不利にならない。
より長期間使うようになる	・自動車が所有からレンタルやカーシェアリングへ進み、また公共交通化が進むと、使用年数に個人の嗜好が影響しにくくなり、長く使用されるようになる。	・熱硬化性樹脂の【長寿命性（耐疲労性）】は、有利になる。

シーズ

熱硬化性樹脂の特性（シーズ）としては、次のとおりである。

熱硬化性樹脂の使用事例や強み・弱みとなる特性については、アンケートにより次のように把握した。

熱硬化性樹脂の使用事例	・熱硬化性樹脂は自動車部品に幅広く使われているが（部品 142 種類の 4 割以上）、その中で他素材との代替が生じていた（およそ金属→熱硬化性樹脂→熱可塑性樹脂）。 ・「他素材→熱硬化性樹脂」と「熱硬化性樹脂→他素材」の双方向の代替が生じている部品もあり、競争の激しさが伺えた。
強み	・これまでは【熱的特性】、今後は【軽量性】が強みとなると認識されていた。 ・【熱的特性】【電気的特性】【軽量性】は、将来の自動車の変化（駆動力の電気化・電池化、交通のインテリジェント化、軽量化）において、熱硬化性樹脂の強みとなると認識されていた。 ・全体として、熱硬化性樹脂の強みとして様々な特性が幅広く挙げられており、自動車部品が高度化、複雑化する中で、熱硬化性樹脂が幅広い性能要求にトータルに多面的に応えられることがコストパフォーマンスの高さであることが示唆される。
弱み	・【コスト】や【リサイクル性】が弱みと認識されていた。

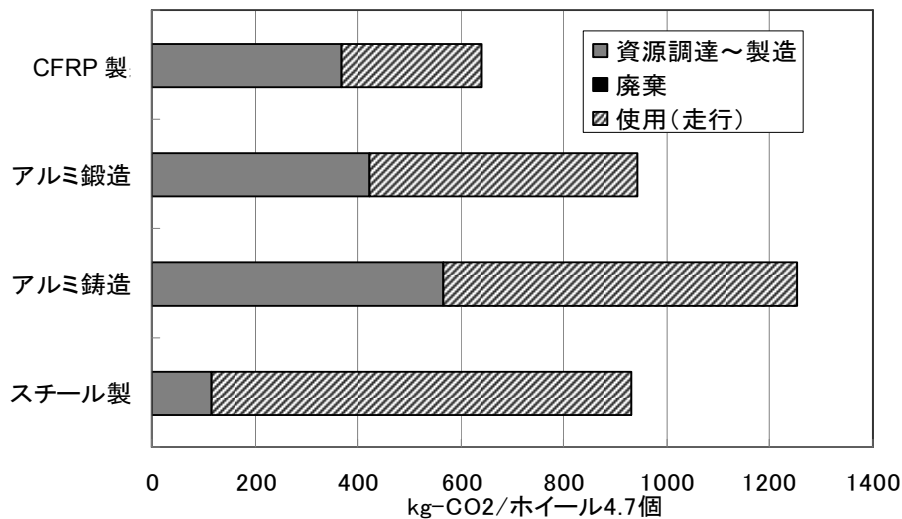
上記のアンケートで示された熱硬化性樹脂の強みを活かし、弱みがネックにならないようにするにはどうするか等については、ヒアリングにより次のように把握した。

- ・【電気的特性】は、熱硬化性樹脂しか実現できない強みとの指摘があった。【熱的特性】は、熱可塑性樹脂が猛烈に追いつけているとの指摘があった。【接着性】は、軽量化に寄与するとの指摘があった。
- ・【強度】については、熱硬化性樹脂単独で金属同等にするのは難しく、繊維で強化する必要があるとの指摘があった。繊維として軽量化と金属並みの強度を担えるのは炭素繊維のみであり（CFRP）、同繊維を最大限配合しうるマトリックス樹脂は、熱可塑性樹脂ではなく熱硬化性樹脂との指摘があった。また CFRP のリサイクルについては、炭素繊維が高価ゆえ動機があるとの指摘があった。
- ・自動車でも、耐衝撃性が求められるライトカー等には、熱硬化性樹脂を使えるとの指摘があった。
- ・熱硬化性樹脂は成型速度が遅く、大量生産の場合は熱可塑性樹脂が有利であるが、多品種少量生産の場合は（例：バス・トラック・特別仕様車等）熱硬化性樹脂が不利にはならないとの指摘があった。

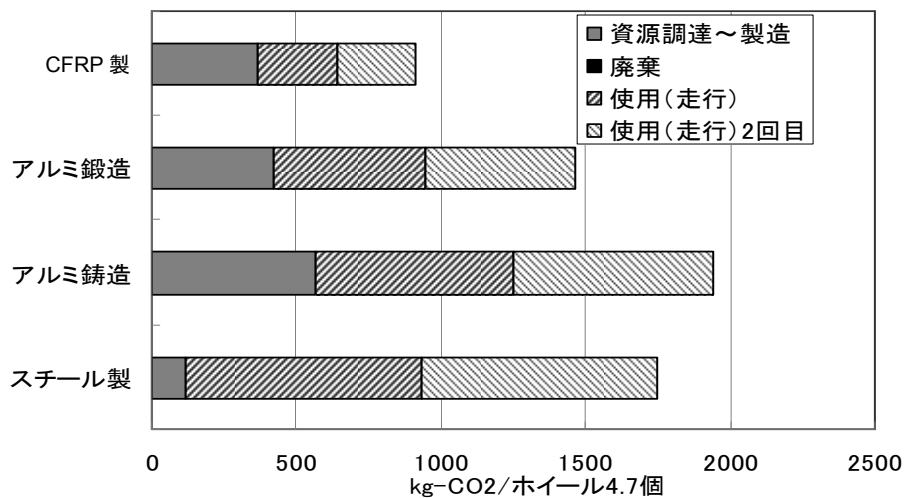
以上の検討をもとに、熱硬化性樹脂の強みとして「軽量性」を取り上げ、ネックとなる「強度」は CFRP として補強すると想定し、今後の技術開発の方向性について LCA により次のように把握した。

LCA（対象製品はホイール ¹ 、比較素材は、鉄、アルミ）	
ライフサイクル トータルで比較	・CFRP の CO ₂ 排出量は、他の素材（鉄、アルミ）に比べ、有利であった（図表 0-4、図表 0-5、図表 0-6 参照）。
ライフサイクル ステージで比較	・CFRP の有利性が最も大きいのは走行時であった（図表 0-4 参照）。従って、走行時間が長いほど CFRP が有利になる。CFRP は腐蝕に強く長寿命であることから、リユースで長く使えば、一層有利になる。
CFRP のリサ イクル方法で比 較	・CFRP のリサイクルの CO₂ 排出量は、リユースが最も有利であり、サーマルリサイクルが熱回収を考慮しても最も不利であり（炭素燃焼時の CO₂ 発生が多いため）、マテリアルリサイクルがその中間であった（炭素繊維の製造工程の CO₂ 排出量が多く、それを回避できるため）（図表 0-4、図表 0-6 参照）。 ・炭素繊維のマテリアルリサイクルの際、原単位が 4.05[kg-CO₂/kg] 以下であれば、走行段階を考慮せず、資源調達～製造段階と廃棄・リサイクル段階の合計のみを考慮しても、スチールよりも有利になる（すなわち、比較素材の中で最も有利になる）ことがわかった。 ・リサイクル時に、高価な炭素繊維との分離がより容易な熱硬化性樹脂の開発が必要である。

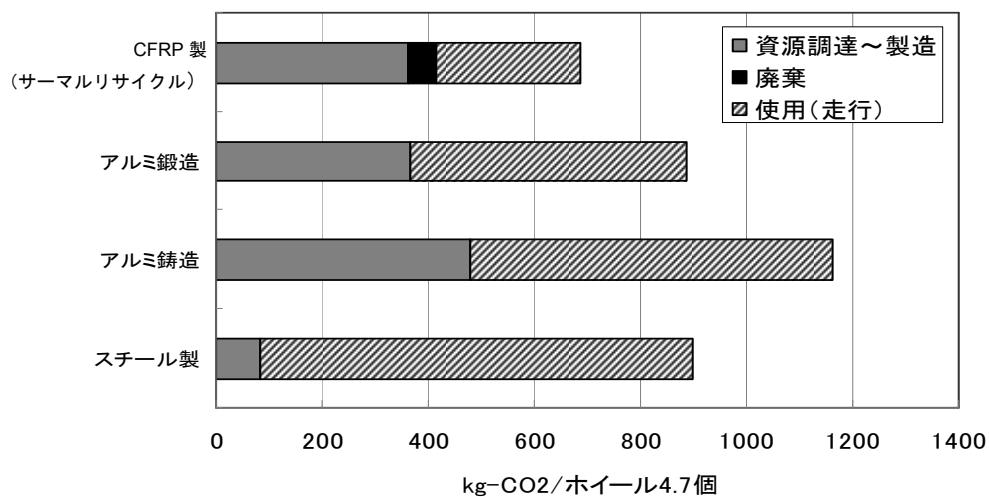
¹ アンケートで、現在他素材が使われているが今後熱硬化性樹脂に代わりうる部品の一つとして挙げられた。



図表 0-4 LCA 評価結果（単純廃棄）



図表 0-5 LCA 評価結果（リユース 1 回、2 サイクル評価）



図表 0-6 LCA 評価結果（マテリアルリサイクル、CFRPはサーマルリサイクル）

熱硬化性樹脂の技術開発と活用のあり方

以上のニーズとシーズ（アンケート、ヒアリング、LCA）を踏まえ、将来の自動車に求められる技術と予想されるマーケットについて仮説を立てながら、熱硬化性樹脂の技術開発と活用のあり方について、図表 0-7 のように整理した。

車を知的に使う制御システム(Intelligence 知) (道路・交通システム)



熱硬化性樹脂の技術

図表 0-7 将来の自動車に求められる技術と、熱硬化性樹脂の技術開発と活用のあり方

(→アンケート4.3節、→ヒアリング5.3節、→LCAの結果6.3節)

方向性	強みを活かすにはどうするか 		強みを活かし、弱みがネックにならないようにするにはどうするか 		弱みをどう解決するか 
関連する特性 (アンケートから抽出)	【電気的特性】	【熱的特性】	【軽量性】 【接着性】 (軽量性に寄与) 【長寿命性 (耐疲労性)】	【強度】 【加工生産性】	【リサイクル性】
将来認識	将来における自動車の駆動力の電気化・電池化や交通のインテリジェント化 (道路・交通システム等) の中で重要性を増すと予想され、熱硬化性樹脂の活用が期待される。		将来における自動車の軽量化の中で、熱硬化性樹脂の「軽量性」は有利であるが、「強度」で不利になるおそれがある。そこで強度をどのように補うか、あるいは強度が不利にならない用途があるか？		
アンケートやヒアリングでの意見	<期待される特性> ・電気自動車やハイブリッド車：電池の大型化・高電圧化により高い絶縁性が要求されるとの意見		<期待される特性> ・ハイブリッドカーの発電機や駆動モーター：熱硬化性樹脂の熱伝導率が比較的高くモータの熱的性能低下を防げるとの意見。 ・エンジン、モーター、電池、充電周りの部品：非常時の高温でも、熱可塑性樹脂より溶けにくいとの意見。		
	LCA的に有利になる使い方 (CO2 排出量)		<強度は、異種素材連携 (CFRP) によって解決する> ・強度の高い単独の熱硬化性樹脂もあるとの指摘の一方、熱硬化性樹脂単独で金属同等の強度にするのは、基本的に難しく、繊維で強化する必要があるとの指摘があった。 ・繊維として、軽量化しつつ金属を代替しうる剛性を担うのは、炭素繊維のみであるとの指摘があった (CFRP)。その上で、炭素繊維を CFRP に最大限配合しうるマトリックス樹脂は、含浸性の面から、熱可塑性ではなく熱硬化性樹脂とのことであった。 ・長く使う (走行時間) ほど、鉄やアルミより LCA 的には有利		
技術開発の基本戦略	熱硬化性しかない【電気的特性】【熱的特性】を活かし、 ・交通のインテリジェント化マーケット ・自動車の駆動力の電気化・電池化マーケット を目指して技術開発し、運輸部門の CO2 削減に貢献		熱硬化性の【 軽量性 】を活かし、 量 のある部品で金属を代替し、運輸部門の CO2 排出削減に貢献 【強度】 をネックにしないよう 異素材連携 (CFRP) 炭素繊維の 剛性 を発揮できる 熱硬化性樹脂開発 (低価格大量生産は熱可塑有利。高機能製品を狙う)		
	<交通のインテリジェント化マーケット> より安全でサステイナブルな運転になるよう、個々の車を誘導・制御していくシステムが普及すると想定する。 ・車間距離制御システム、路車協調システム等の電子部品		<ニーズに合わせた性能の自動車マーケット> 将来の自動車の変化の仮説として、ニーズに合わせた性能の自動車 (高齢者や女性のための小型車や1人乗り自動車、近隣の配達等のための電気自動車等) のラインナップが揃うことを想定する。 これらの自動車は、必ずしもスピードが要求されない用途であり安全性が保たれやすい。 大量生産ではなく多品種少量生産となることが想定され、その場合は、熱硬化性樹脂の弱みとなる「コスト (加工生産性)」がネックとならない可能性はある。		
社会の変化から予想される狙うべきマーケット	渋滞を防ぐため、道路の交通量を予測・制御し、各車を最適に誘導していくシステムが普及すると想定する。 <自動車の駆動力の電気化・電池化マーケット> ・ハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車の電子部品、電池、モーター等		<公共交通車両マーケット等> 自動車が所有からレンタルやカーシェアリングへと進み、また公共交通化が進むことを想定する。 使用年数に個人の嗜好性 (すなわち、新車が頻繁に出てきて、買い換える) が影響してこなくなり、 長く使用 されるようになってくる可能性がある。その場合、熱硬化性樹脂の耐久性 (長寿命性) が有利である。また、LCA 的にも、 走行時の CO2 排出量は、CFRP が鉄やアルミより少ない ので、 長く使えるほど有利 である。		

