

安全・安心な社会のための低環境負荷コミュータバスの提案

Proposal of Low Environmental Load Commuter Buses for Safe Society

東京大学 工学部 システム創成学科 環境・エネルギーシステムコース 4年

学籍番号：20746 氏名：田上友之

指導教官：高橋 淳 助教授

1. 序 論

京都議定書により、我が国については2008年から2012年までの期間に1990年比6%の温室効果ガス排出量を削減する目標が定められた。日本のエネルギー消費の中では、運輸部門の消費エネルギーの増加が著しく、その中でも乗用車の占める割合は56.4%と高い値を示している¹⁾。また、高齢化に伴う走行距離増加により、さらにこの値は増加すると考えられる。この対策として、低環境負荷コミュータバスが有効である。コミュータバスはエネルギー消費原単位が乗用車よりも小さいだけでなく、現在問題となっている高齢者による事故も削減することができる。また、車の燃費は車体の重量に比例するので、コミュータバス導入の際、既存の鉄製ではなく、軽量で比強度、比剛性が高いCFRP製のものを使うことによって、さらに大きな効果が期待できる。

以上のような背景から、鉄とCFRPについての構造解析をFEMによって、エネルギー消費量の比較をLCAによって、それぞれ大型バスと小型バスについて検討する。また、コミュータバスを導入することでのマクロな視点からの環境評価、高齢者の交通事故削減効果についても検討する。

2. FEM 解析

2.1 バスの形状

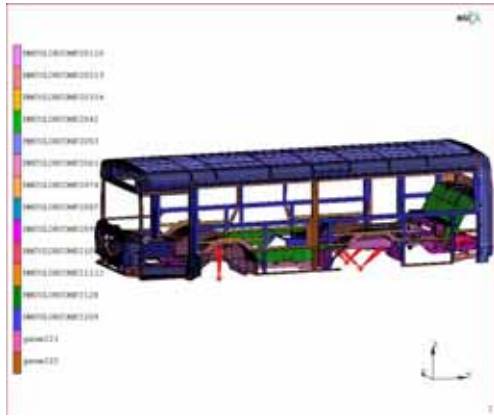


Fig.1 フレームの形状

2.2 解析方法(フレーム) 曲げ剛性と捻り剛性は乗り心地と操作性に関する評価、相当応力は強度に関する評価として解析を行った。また、その際の必要重量から、鉄からCFRPにすることによる軽量化率を求めた。

2.2.1 曲げ剛性 曲げ剛性は、荷重 W 、ホイールベース l 、タイヤから荷重点までの距離 b を設定した上でFEM解析を行い、結果として出た最大たわみ量 δ 、タイヤから最大たわみ量までの距離 x を使って曲げ剛性の式、

$$EI = \frac{Wbx}{6\delta}(l^2 - b^2 - x^2) \text{ に代入して求めた } ^{2)}.$$

2.2.2 捻り剛性 捻り剛性は、荷重 W 、タイヤから荷重点までの車両長さ方向での距離 R 、タイヤから荷重点

までの車両幅方向での距離 r を設定した上でFEM解析を行い、結果として出た荷重点のたわみ量 δ を使って捻り剛性

$$\text{の式 } GI = \frac{Wr^2R}{\delta} \text{ に代入して求めた。}$$

2.2.3 相当応力 相当応力は2.5G状態(車体重量の2.5倍の荷重をバスにかけた状態)において、降伏応力に対しての安全率が1.8を下回らないようにするため、鉄については50.1MPa、CFRPについては132.2MPaを超えないようにした。

2.2.4 ホイールベース 大型バスと小型バスではホイールベースが異なり、必要な剛性も異なるので、共通した評価をするためにホイールベースに依存しない数値、 EI/l^3 (曲げ)、 GI/l^3 (捻り)で比較した³⁾。

2.3 解析結果(フレーム)

- 鉄製大型バス(フレーム重量 2574kg)では、 EI/l^3 値 224.8、 GI/l^3 値 104.9であることから、これをCFRP製大型バス、鉄製小型バス、CFRP製小型バスを設計する際の剛性の評価基準とした。
- CFRP製大型バスの最適な構造は EI/l^3 値 275.6、 GI/l^3 値 105.3、最大相当応力 36.4MPaとなり、その時のフレーム重量は1632kgであった。
- 鉄製小型バスの最適な構造は EI/l^3 値 357.1、 GI/l^3 値 419.9、最大相当応力 48.5MPaとなり、その時のフレーム重量は1643kgであった。
- CFRP製小型バスの最適な構造は EI/l^3 値 254.0、 GI/l^3 値 216.7、最大相当応力 12.7MPaであり、その時のフレーム重量は635kgであった。

2.4 外板 外板については曲げ剛性が関与するので、鉄もCFRPも同じ曲げ剛性にしたところ、鉄からCFRPにすることで大型も小型もともに約68%軽量化された。

2.5 車両重量 乗り心地、操作性、強度の面で鉄と同じ機能のバスをCFRPでつくったところ、全体としての車両重量は大型バスでは9980kgから8476kgへと約15%、小型でバスでは6371kgから5004kgへと約21%軽量化された(Table 1)(Table 2)。

Table 1 部品別大型バスの重量

	鉄製大型バス	CFRP製大型バス
フレーム(kg)	2574	1632
外板(kg)	822	260
エンジン部分(kg)	1299	1299
その他(kg)	5285	5285
合計(kg)	9980	8476

Table 2 部品別小型バスの重量

	鉄製小型バス	CFRP製小型バス
フレーム(kg)	1643	635
外板(kg)	525	166
エンジン部分(kg)	829	829
その他(kg)	3374	3374
合計(kg)	6371	5004

3. LCA

3.1 大型バスの LCA 大型バスの車体を鉄から CFRP にすることによる環境負荷の低減を定量的に評価することを目的とし、LCA を行った。なお、燃費 2.34km/L、使用年数 15 年、走行可能距離 430000km とし、それを満たすバス 1 台を基準フローとする⁴⁾。LCA の結果は Table 3、Fig. 2 のようになった。

Table 3 大型バスの工程別エネルギー消費量

	鉄製大型バス	CFRP製大型バス
製造(GJ)	180	764
走行(GJ)	8817	7657
合計(GJ)	8997	8421

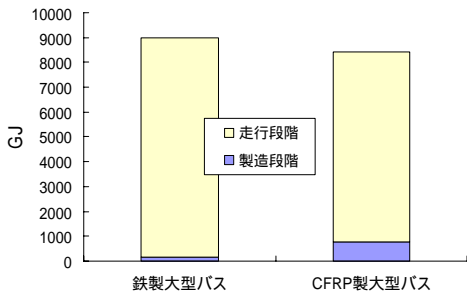


Fig. 2 大型バスのエネルギー消費量

鉄から CFRP にすることで、トータルでのエネルギー消費量は 576GJ 削減でき、これは、既存大型バスの消費エネルギーの 6.4%にあたる (Table 3)。

3.2 小型バスの LCA 小型バスの車体を鉄から CFRP にすることによる環境負荷の低減を定量的に評価することを目的とし、LCA を行った。なお、燃費 3.67km/L、使用年数 15 年、走行可能距離 430000km とし、それを満たすバス 1 台を基準フローとする⁴⁾。LCA の結果は Table 4、Fig. 3 のようになった。

Table 4 小型バスの工程別エネルギー消費量

	鉄製小型バス	CFRP製小型バス
製造(GJ)	115	324
走行(GJ)	5295	4241
合計(GJ)	5410	4565

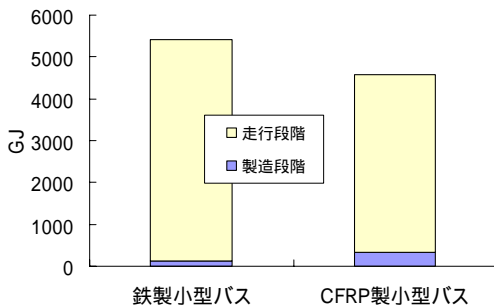


Fig. 3 小型バスのエネルギー消費量

鉄から CFRP にすることで、トータルでのエネルギー消費量は 845GJ 削減でき、これは、鉄製小型バスの消費エネルギーの 15.6%にあたる (Table 4)。

4. コミュータバス導入による効果

定員 30 人、乗車率 30% の CFRP 製コミュニティバスを 50 万台普及させた場合、運輸部門でのエネルギー消費量は約 5%、自家用乗用車でのエネルギー消費量では約 10% を削減することができる。また、燃費を 1km/L 向上させると

に 0.49Mtoe、乗車率を 1% 上げると 0.26Mtoe の省エネルギー効果がもたらされる (Fig. 4) (Fig. 5)。

65 歳以上の高齢者による自動車交通量は、2000 年現在 951 億人キロであるが⁵⁾、2050 年には 2101 億人キロと今後 50 年間で 2.2 倍となり、今後高齢者の交通量は増加傾向にある。よって、高齢者による事故の削減が急務となり、そのためにはコミュニティバスを普及させる必要がある。コミュニティバスを 50 万台普及させた場合、将来の高齢者の交通事故を半分近くまで削減できるポテンシャルがある。

5. 結論

コミュニティバスの導入の効果は、燃費と乗車率が大きく関わってくる。コミュニティバスのボディに鉄ではなく CFRP を使うことによって軽量化がなされ、消費エネルギーが削減されることが本論文により分かったため、コミュニティバスの車体を CFRP で作ることは燃費向上のために有効だと言える。また、CFRP は一体成形で作るため、さまざまな形状の車を作ることができ、斬新なデザインを売りに乗車率も上げることができると予想される。よって、コミュニティバスを CFRP で作ることは燃費の面だけではなく、乗車率の面からも有効であると言える。小型バスと大型バスを比べた場合、小型バスのほうが軽量化しやすく、消費エネルギーも削減しやすい。また、高齢者が多く住む地方都市では小型のほうが小回りがきき、乗車率も上がるので、バスは小型にしたほうが有効だと思われる。

こうして、CFRP 製コミュニティバスを導入することにより自家用乗用車の消費エネルギーを約 10% 削減できる可能性があり、また、高齢者の事故も大きく削減できることが本論文より明らかになった。コミュニティバス導入の効果をもっと向上するためにも、車体を CFRP で軽量化するという技術面と、車体のデザイン向上や補助金、啓蒙活動などの政策を実施していくことで乗車率を上げるという政策面の両面からのアプローチが重要だと言える。

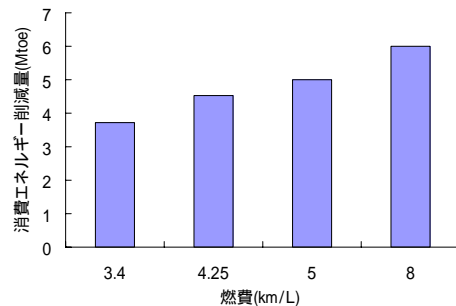


Fig. 4 燃費別消費エネルギー削減量 (普及台数 50 万台)

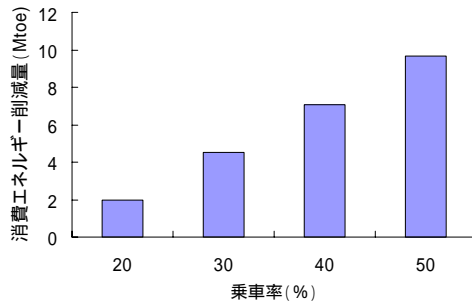


Fig. 5 乗車率別消費エネルギー削減量 (普及台数 50 万台)

参考文献

- 1) 環境白書, 環境省, 2003
- 2) 高橋幸伯, 基礎材料力学, 培風館, 1988.
- 3) 式田昌弘, 自動車の強度, 山海堂.
- 4) EDMC/エネルギー・経済統計要覧, (財)省エネルギーセンター, 2003.
- 5) 平成 15 年度版交通事故統計, 警察庁, 2003.