

Power games

環境にやさしいF1

Nature Vol.447 (900-903) / 21 June 2007



環境にやさしい自動車レースは可能だろうか？ フォーミュラ1（F1）を主催する国際自動車連盟（FIA）のMax Mosley会長は、一般車にも使えるエネルギー効率のよい技術の開発を支援していきたいと考えている。この取り組みをどのようにして進めていくのか。Andreas Trabesinger記者が取材した。

CHINA PHOTOS / GETTY / NEWS.COM

2007年6月10日、カナダのモントリオールで行われたフォーミュラ1（F1）グランプリレース。BMWザウバー F1 チームのRobert Kubicaが、ヘアピンカーブで競り合っていたトヨタのJarno Trulliを追い越そうとした。時速280キロメートル。その瞬間、Kubicaはレーシングカーのコントロールを失い、コンクリート壁に正面から激突した。跳ね返った車はコースに沿って宙返りし、それから停止した。車体はつぶれ、車輪は1つしか残っていなかった。驚くべきことに、車内から救出されたKubicaは軽い脳震とうを起こし、足首をくじいていただけだった。ここまで軽いけがですんだのは、F1

カーの安全性の向上と、F1を主催する国際自動車連盟（FIA）が安全基準の厳格化に努めてきたこと^{あかし}の証である。15年前ならKubicaはほぼ間違いなく死んでいただろう。

モントリオールでのレースを含め、F1チャンピオンシップ（今年は全17レース）は、自動車技術を理性の限界まで推し進めるスリルを売り物にしている。こうした極限のレースにおいて、スピードの追求に歯止めをかけて分別のある競技にとどめることは至難の業だ。

FIAは、この責務を負っている。つい最近まで、FIAは主として、ドライバーの安全を確保しつつ、数万人のサーキット

の観客や数千万人にのぼるテレビ視聴者が満足するような刺激的なレースを見せることに心を砕いてきた。理性と興奮を強引に混ぜ合わせたようなこの競技は、時に思いがけない展開を見せることがある。FIAは昨年、F1の「グリーンアジェンダ（環境計画）」を発表し、100キロメートルあたり60～70リットルという大量のガソリンを消費するこのスポーツを、環境にやさしい一般車の技術開発を促進するための「触媒」に変えていくという計画を公表した。

Max Mosley（写真上）は、このグリーンアジェンダの舵取りをしている人物である。現在60歳代の彼は、ロンドンの

トラファルガー広場を見下ろすペントハウスで、2009年以降にFIAが達成すべき目標を思い描いている。英国のオックスフォード大学を物理学の学位を得て卒業し、続いて法律を学んだという経歴から、彼が自動車技術の専門家ではないことは明らかである。しかし彼は、1960年代半ばからドライバーおよびチームのオーナーとして自動車レースの世界で活動し、1990年代初めからFIA会長を務めている。環境にやさしい技術のために、F1にどのような貢献ができるのか？

Mosleyの展望は明快だ。一般車に活用できる技術、特に二酸化炭素の排出量を削減するための技術をF1で研究していくのである。

では、F1はどうやってそれを実現するのだろうか？ FIAには、毎年のチャンピオンシップの技術ルールを改定できるという強い権威があるが、これを利用するのである。FIAはこれまで、安全面への配慮から、エンジンの大きさなどを制限することによってエンジンの出力を抑えてきた。つまり、F1カーのエンジニアにとっての課題は、決められた大きさのエンジンから最大のパワーを引き出して、F1がサーキットで行われる最速のレースであり続けられるようにすることだったのである（コラム「F1のこれまで」を参照）。しかし今回、F1チームは2011年シーズンの開幕までに、決められた量のエネ

ルギーを最大限に活用するという新しい技術をもたなければならなかった。それ以降は、各レースで使える燃料の量も制限されることになる。

Mosleyはここで、F1カーと一般車との結びつきを意識している。彼はいう。「これはまさに自動車産業が解決しようとしている問題であり、世界全体が解決しようとしている問題なのだ。ひとたび、こう考えるようになれば、『なぜもっと早くからこのようにしてこなかったのか？』という疑問が出てくるかもしれない。その理由は、一般車メーカーがそれをしてこなかった理由や、一般の人々がそれを要求してこなかった理由とまったく同じだ。エネルギーがまだ非常に安いからなのだ」。

F1は、この10年間で一般車との関係を強めてきた。現在、レースに参加している11チームのうち6チームは、大手一般車メーカーが直接のスポンサーになっている。1997年の時点では、多くの一般車メーカーがエンジンなどの部品をF1に供給していたが、自身のチームをもっていたのはマクラーレン・メルセデスとフェラーリの2つだけだった。この状況が変化し始めたのは、一般車メーカーがF1を販売促進の舞台とみなすようになってからのことである。一般車メーカーの参入は、レース費用が資金力を超え始めていたF1側にとっても好都合だった。

F1チームの維持費は毎年数億ドルにのぼる。こうしたチームを所有することは、限られた者にしかできないぜいたくだ。30年前には変速装置1個を変えるにも新たな資金調達が必要だったが、今日のF1には一流スポンサーと広告から多額の資金が流れ込んでくる。

100万ドルで4ミリ秒

では、この多額の資金は何を成し遂げてきたのだろうか？ Mosleyによると、FIAが昨シーズンの終わりにエンジン開発を凍結するまで、エンジンの改良により短縮されるラップタイムは、開発費100万ドル（約1億2000万円）あたり平均4ミリ秒だったという。空気力学的性状の最適化により短縮されるラップタイムは、開発費100万ドルあたり20ミリ秒だった。Mosleyの意見は明快だ。「実に高度で驚くべき技術だが、まったく無意味だ。そして実生活と関係がない。なぜなら、こうしたエンジンは本質的に効率が悪いからだ」。参加チームは大規模な風洞、スーパーコンピューター、模型工房をもち、毎日24時間働いているが、それは既存の技術に磨きをかけているにすぎないとMosleyは指摘する。「私はこれをやめさせたい。本当に能力のある人たちが、世界全体が解決しようとしている問題に取り組むようにさせたいのだ。それはF1にとってもよいことだ」。

BERT HARDY / GETTY HULTON ARCHIVE / NEWS.COM
JEAN-FRANCOIS GALERON / MAXPPP / NEWS.COM
ASA / AI WIRE PHOTO SERVICE / NEWS.COM

F1のこれまで



1950年代のF1

死者数：8人

エンジン排気量：1.5～4.5リットル
パワー：1958年時点で270馬力



1970年代のF1

死者数：10人

エンジン排気量：1.5～3.0リットル
パワー：1974年時点で485馬力



1990年代のF1

死者数：2人

エンジン排気量：3.0～3.5リットル
パワー：1997年時点で755馬力

Mosleyは、F1が取り組むことで一般車の役に立つだけでなく、F1の繁栄も確実なものにしてくれるような課題が2つあると考えている。1つは熱として失われるエネルギーを回収することであり、もう1つは制動（ブレーキ）により失われるエネルギーを回収することである。燃料から得られるエネルギーの約3分の2は、熱として排気ガスと冷却液を通して空气中に失われる。車を走行させるエネルギーは残りの3分の1にすぎず、この運動エネルギーの一部も、ドライバーがブレーキをかけたときに熱に変わって失われる。2009年からF1に導入される新しいレギュレーション（規定）により、各チームは制動により失われるエネルギーを決まった範囲で回収して車の推進力に使うことを許され、かつそれを強制されることになる。さらに、2011年か

ら導入されるレギュレーションでは、熱として空气中に失われる残り3分の2のエネルギーを回収するという、より困難な課題が待っている。

現時点では、制動により失われるエネルギーを回収することは許可されていない。F1カーが受ける極端な力のもとでこの技術がどのように機能するのかという懸念があるからである。この技術は運動エネルギー回収システム（KERS）とよばれている。ハイブリッドカーに乗っている人なら、「回生制動」という呼称のほうがわかりやすいだろう。現在のハイブリッドカーはガソリンエンジンと電気モーターの両方を備えており、ガソリンエンジンと回生制動のどちらでも電気モーター用のバッテリーを充電することができる。エネルギーはさまざまな形で貯えられるが、F1で実現する可能性が高い

のは、バッテリーやキャパシターを使って電気として蓄える方法かフライホイール（はずみ車）を使う方法だろう。

2009年のレギュレーションでは、車の燃料消費を直接制限することはしない。レース中の燃料補給もまだ許される。ここで運動エネルギーを回収できるようになることは、レーシングカーがパワーアップすることを意味している。余分な燃料を積むことなく（つまり重量を増やすことなく）、これまでより多くのエネルギーを使えるようになるからである。運動エネルギー回収システムには、貯えたエネルギーを使って車の性能を向上させられるという利点もある。特に、コーナーを出るときやほかの車を追い越すときの加速性能がアップすれば、よりエキサイティングなレースをファンに見せられるようになる。こうした点で、運動工

排ガスゼロの自動車レース

排ガスゼロの自動車レースは可能だろうか？ オランダのアムステルダムにある小さな企業が、水素燃料電池車による「フォーミュラゼロ」というレースシリーズを開催しようとしている。従来のエンジンとは違い、燃料電池は加圧タンクに貯蔵した水素燃料を空気中から取り入れた酸素と反応させてエネルギーを得るため、排出されるのは水だけだ。

フォーミュラゼロ計画は走り出したばかりである。工業デザインエンジニアのEelco Rietveldと環境コンサルタントのGodert Van Hardenbroekが会社を設立したのは2003年のことであり、2008年から2009年に水素を燃料にしたフォーミュラゼロのレースシリーズを開催することをめざしている。彼らは、すでにいくつかの大学チームを説得して燃料電池

フォーミュラゼロを開発してもらい、重量500キログラム未満の燃料電池車でのFIA公認速度記録を打ち立てている。そのフォーミュラゼロ（写真）は昨年、停止状態からスタートして200メートルを平均時速61キロメートルで走っている。

しかし、この会社は長期的にはもっと大きな目標をもっ

ている。自動車メーカーがフルサイズのレーシングカーで排ガスゼロ技術を披露するためのレースシリーズを開催したいと考えているのだ。Van Hardenbroekは、FIAが燃費の向上に力を入れ始めたことを歓迎する。「Max Mosleyはとても賢明な判断をした。世界はハイブリッドカーに向かう

だろうし、F1もそれを反映していくべきだ」。けれども彼は、燃料電池技術がガソリンエンジンと競えるようになる日がまだまだ遠いことも認めている。「F1が燃料電池に移行することは非常にむずかしいだろう。これはなだらかな道のりではないからだ」と彼は話した。

A.T.



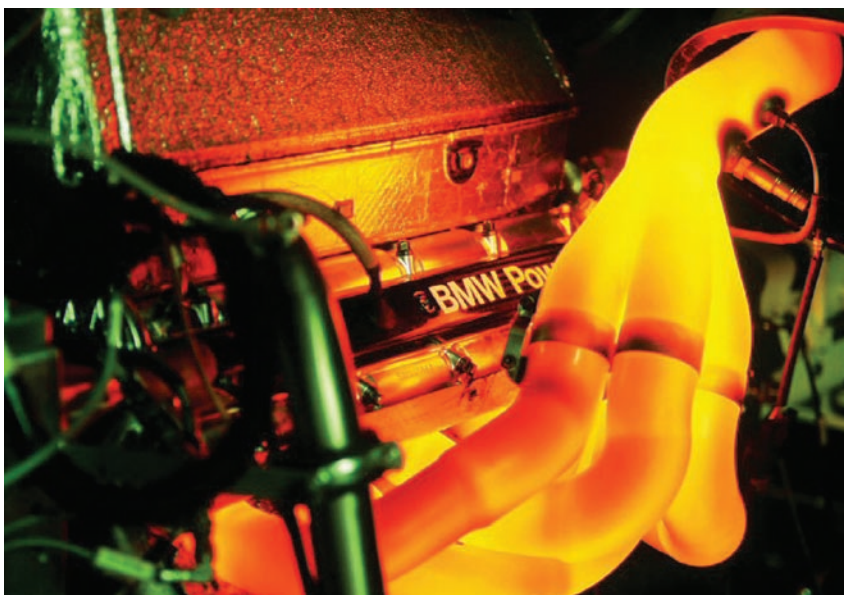
エネルギー回収システムはF1 エンジニアにとっても非常に魅力的なのだ。

電化するレーシングカー

FIAの「F1 マニファクチャラーズ(製造者) 諮問委員会」の委員長であり、BMW社の役員だったBurkhard Göschelは、FIAのグリーンアジェンダの「技術ブレーン」だ。彼は、ほとんどのチームはいわゆるスーパーキャパシター(エネルギー密度が極めて高く、エネルギーをすばやく貯蔵・放出できる蓄電器)か、リチウムイオンバッテリーを使った新しいバッテリー技術のどちらかの蓄電システムを採用するだろうとみている。

MosleyとGöschelは、自動車産業は長期的にはもっと電気を使うようになると予測している。「これからは自動車の電化が進むだろう。後戻りすることはない。F1は正しい方向に進んでおり、一般車もそのあとを追うことになるだろう」とGöschelは話す。彼は、F1が技術開発に取り組むことで、効率が高く、小さく、軽い電気エネルギー貯蔵システムが実現し、その過程で開発された技術は一般車にもすぐに応用できるはずだと考えている。例えば、燃料と電気のハイブリッドカーのバッテリーはまだ重すぎるし、蓄電装置に貯えたり取り出したりできるエネルギーの量は限られている。こうした問題は、設計サイクルが短く、性能の目標が高いF1で取り組んでいくのうってつけである。Mosleyは、レーシングカーのエンジニアたちはやり遂げると確信している。「エンジニアたちは『2年で準備します』というわけにはいかない。チームは『来週必要だ』というからだ。しかも、隣のピットのチームも来週、それを準備しているはずだからだ」。

では、F1は一般車と同じ方向に進んでいるのだろうか? ミシガン州プレザントリッジの自動車情報ウェブサイトに「TheCarConnection.com」の運営者であり、1979年から自動車産業を見てきたPaul Eisensteinは、自動車産業が燃費改善という大きな圧力のもとにあることは間違いないが、消費者は車の大きさや性



高まる熱気:2011年以降、F1チームはエンジンの廃熱を再利用して車の性能を上げることが可能になる。

能について妥協しようとは思っていないと指摘する。「この時点で、現実のハイブリッドカーは人々の期待に沿うものになっていない。コストは高いし、多くのモデルは、燃費も含めて際立った点がない。既存のハイブリッドカーのほとんどは、うたい文句ほどのものになっていないのだ。これはいい状況ではない」と彼は話す。

「ハイブリッドカーの次なる躍進は、電気モーターとガソリンエンジンの相互作用の効率を向上させることでなければならない」とEisensteinはいう。レーシングカーのエンジニアは、ハイブリッド技術にどのような貢献をするのだろうか?

「レーシングカー技術が一般車に応用されることは間違いないだろう。しかし、そのためにはコストや耐久性などの厳しい基準を満たさなければならない。今日、一般車向けの部品は少なくとも10万マイル(約16万キロメートル)の走行に耐えられることが期待されている」とEisensteinは指摘する。F1のために開発された技術が、一般車に求められる性能と耐久性をほどほどのコストで実現できるかどうかは、まだわからない。

廃熱を回収する

回生制動技術の改良はハイブリッドカーのエネルギー効率の向上につながるが、運

動エネルギーの回収は燃料から得られるエネルギーの3分の1についての問題にすぎず、熱として失われる3分の2のエネルギーも考えていく必要がある。Göschelは、「このエネルギーを回収することは魅力的だが、容易なことではない」という。F1カーは以前、エンジンの効率を上げるためにターボチャージャー技術を使っていた。これは、排気ガスでタービンを回し、その力で燃焼室に送り込まれる空気の流れを圧縮する技術であり、エンジンの燃焼効率を高めることができる。

ターボチャージャーは1980年代にF1の各チームで使われていたが、危険なほどエンジンのパワーを上げてしまうため、1989年に禁止された。2011年以降のFIAレギュレーションの改定で再び認められる可能性があるが、まだ詳細は決まっていない。F1が一般車向けのターボチャージャー技術に何をもちろすかははっきりしない。一般車では、すでにディーゼルエンジン車から高性能スポーツカーまで、ターボチャージャーが広く使われているからである。

蒸気機関も

物理化学的プロセスを使って、廃熱を直接電気エネルギーに変える新しい方法も検討されているが、Göschelは、そうし

た装置の効率は非常に低いという。さらに先進的な技術としては、BMWが「ターボスチーマー」という名称で導入した蒸気タービンがある。F1カー向けの技術として蒸気機関が検討されるようになるなど、誰が想像しただろう？ ターボスチーマーはガソリンエンジンで生成した熱からパワーを得るため、力学的なエネルギーが熱から回収されることになる。これと似た「ターボコンパウンド」という装置は、排気ガスでターボチャージャーのタービンを回すだけではなく、排気ガスの流れの中のタービンも回して、得られたパワーを直接利用するか電氣的に貯蔵するものである。ターボチャージャーとは違い、これらの装置は一般車向けにも生産されていない。

F1のエンジニアたちは、こうしたルール変更をどのように見ているのだろうか？「チームはそれを歓迎してはいない。彼らが理解していることをやめさせ、理解していないことをやるように頼んでいるわけだから」とMosleyは話す。Göschelはより前向きな面を見ており、「エンジニアたちは、最初はいくら心配していたが、今では新しい技術に取り組むことに興奮を覚えている」と話す。ホンダレーシングF1チームのNick Fry代表は、ルールの変更が若いエンジニアたちの刺激となり、新しい技術が生み出されることを期待している。「これは、人や、学習することや、知的財産への投資なの



だ。2週間ごとに観衆の前で技術開発の成果を披露しなければならない状況に身を置くことで、私たちは猛スピードで前進しようとしているのだ」とFryは話す。

社会の中で

エネルギーを効率よく回収できるようになれば、それで終わりなのだろうか？「F1は生物燃料に切り替えられるようになるかもしれない。それも2011年から」とMosleyは語る。「私たちは生物燃料を使いたいと考えている。問題はどれにするかだ。現時点ではあまりに多くの生物燃料システムがあるからだ。F1は、生物燃料を率先して選ぶことはせず、広く使われるようになったものを採用したい

と考えている。水素を使った燃料電池は、F1向けとしてはまだ検討されていないが、オランダの小さな企業が燃料電池車のレースシリーズを開催しようとしている（コラム「排ガスゼロの自動車レース」を参照）。さらにFIAは、年に一度の代替エネルギー車のカップレースを計画する代替エネルギー委員会も設けている。

Mosleyは、2009年10月に4回目の任期が終わるときにFIA会長を辞任するつもりでいる。それでは彼は、遺産のつもりでグリーンアジェンダに取り組んでいるのだろうか？彼はそれを部分的に認めているが、今日の環境への配慮は、彼が最初にFIA会長になったときにF1の重大事だった安全性への配慮と同じよう

二酸化炭素の排出を相殺する

自動車レースを主催する国際自動車連盟（FIA）は、1997年以来、F1チームがグランプリシーズン中に排出する二酸化炭素（レース中にレーシングカーが排出する分と、チームがレース会場まで移動するときに出す分）の相殺をめざす研究計画を支援してきた。FIAは、英国に本拠を置く慈善団体「FIA基金」を通じてスコレルテ計画を支援

している。これは、メキシコ南部の村落を援助し、持続可能な土地利用と生計の改善をはかることで、F1に参加する11のチームが1年間に排出する二酸化炭素（1997年時点で約2万トン）を相殺しようとする計画である。

この計画に助言をしている英国のエディンバラ炭素管理センターのRichard Tipper代表によると、2005年12月時点で、

チアパス州とオアハカ州にまたがる43村落の888人の農民が計画に参加しているという。

2006年にドイツで開催されたサッカーワールドカップなどのスポーツイベントとは異なり、FIAはレース会場に来るファンが排出する二酸化炭素を相殺していないので、F1全体でカーボンニュートラル（二酸化炭素排出量の完全な相殺）を

主張することはできない。FIA基金のDavid Ward理事長によると、今年はスコレルテ計画の有効性を検討し、F1チームによる二酸化炭素の排出量が1997年から変化したかどうか調べる予定であるという。今のところ、FIA基金にはカーボンニュートラルをめざす計画はない。

A.T.

なものだと考えている（コラム「二酸化炭素の排出を相殺する」を参照）。「環境問題は安全問題といくらか似ている。私たちが安全問題に取り組んだのは、だれも殺したくはなかったし、傷つけたくもなかったからだ。けれどもまた、1960年代のようにドライバーが死ぬことを社会が許さなくなっていたという事情もあった」とMosleyは話す。1960年代には毎年1人のF1ドライバーが死んでいた。「同様に、私たちが環境問題に取り組む理由も2つある。私たち自身が環境

問題に取り組みたいと思っているだけでなく、社会もそれを求めているのだ」。

F1は将来、「環境にやさしいスポーツ」といわれるようになるのだろうか？「ファンがそれを歓迎するかどうかはわからない」とMosleyはいうが、理性と興奮が両立不可能であるとは考えていない。彼は、二酸化炭素の排出と燃費に対する人々の関心がこれまで以上に高くなって、スピード感があり、パワフルで、しかも燃費がよくなったF1に魅了され続けていてくれることを願っている。ルール変

更の影響については、Mosleyはおおむね実利的に考えている。「技術的に面白ければ楽しいし、社会に貢献できるならいいことだ」。とはいえ、F1が生き残るためには一般の人々の支持が必要不可欠だと彼は考えている。「何よりも大切なのは、F1をますます魅力的で面白いものにしていくことで、人々が有料で楽しみ続けてくれるようにすることだ」。

Andreas Trabelsinger は、*Nature Physics* のアソシエイトエディター。