

ミニ4駆のコース特性シミュレーション

*Dr. キッチュ

はじめに

「ベンチで最速にチューンしたマシンも、コース上では思うほどスピードが出せないことがある。」

「NiCd電池の方がアルカリよりパワーを出せる。」

WORKS Kitsch が参戦した '89 年の高天原シリーズ以来、このような風説がそこそこ聞えはしたが、今ひとつ論理的な検討はされていなかった。

しかし、この度の甲府 GAC シリーズで、わが WORKS Kitsch は、忘れかけていたこの問題に直面せざるを得なくなった。

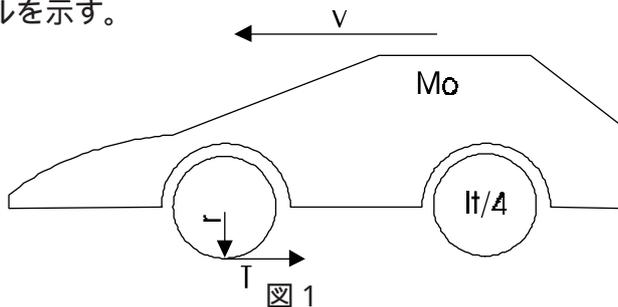
「レースで勝てるチューニングはどのように考えればよいのか？」

そこで今回、コース走行を 1 つのシステムと考えたミニ4駆のシミュレーションを検討した。

結果、上記の風説は事実であることを確認したので報告する。

ミニ4駆の運動シミュレーションモデル

図1に、今回検討に使用したミニ4駆の力学モデルを示す。



モデルのパラメータで重要な項目は、モーター特性、車重、タイヤ径、タイヤ重等である。

ミニ4駆のタイヤがスリップしないと仮定すると、走行中のミニ4駆の運動方程式は、タイヤ回りのトルク - モーメントを考えればよい。

モーターとミッションにより、シャフトを駆動するトルクを T とすると、

$$T = (M_0 \times r + I_t) \times a_r \quad (1)$$

ここで、 M_0 は全車重、 r はタイヤ半径、 I_t はタイヤの慣性モーメント、 a_r はシャフト加速度である。

式1において、タイヤの重さは全車重とタイヤの慣性モーメントに2つカウントされているが、これは走行中の全エネルギーが、

タイヤ重心の進行方向への運動エネルギーと、タイヤの回転エネルギーの2系統に分配されることを表している。つまり、より高速に走るためには、タイヤの回転エネルギーもよりチャージアップする必要があることを示している。

従って、タイヤの慣性モーメントを下げれば、より少ないエネルギーで高速回転でき、スピードを上げる事が可能と思われる。

しかしながら、通常のミニ4駆のスターティング方式は、「スイッチON コース接地」という方法を取っている。この場合、ミニ4駆は、タイヤ等の回転系に貯えたエネルギーを以ってスタートダッシュをかけることになり、却ってタイヤの慣性モーメントが大きい方がスタートでのアドバンテージが得られることになる。

このスタートダッシュは、図1のモデルにて、無負荷回転角速度 ω_0 のタイヤ、モーターの回転エネルギー E_{r0} が、スタート直後の運動エネルギー E_k と、タイヤの残存回転エネルギー E_r に分配されたと考えられる。したがって、

$$E_{r0} = E_k + E_r = \frac{1}{2} I_t \times \omega_0^2 \quad (2)$$

また、スリップしない条件では、タイヤの接地速度が車速 v に一致するので、

$$E_k = \frac{1}{2} M_0 \times v^2 \quad (3)$$

$$E_r = \frac{1}{2} I_t \times \omega^2 \quad (4)$$

$$v = r \omega \quad (5)$$

これらより、接地直後のミニ4駆のタイヤ角速度は、

$$\omega = (I_t / (I_t + M_0 r^2)) \times \omega_0 \quad (6)$$

となる。

ミニ4駆の電氣的シミュレーションモデル

一方、ミニ4駆のシミュレーションを正しく行うためには、モーターや電池の特性を考慮しなければならない。モーターは、回転数が現象するとトルクが増え、動力として働く。回転数が0の時にいわゆるストール状態であり、これ以上のトルクは発揮できない。また、電流はある程度オフセット i_0 を持ち、トルクに比例して増加している。このため、電池に求められる特性は、「いかに大電流を流し続けられるか」ということにかかってくる事がわかる。この要求特性から、電池に求められるファクターを上げると、

- 1) 大電流を流せる 内部抵抗がひくい
- 2) 流し続けられる 放電特性がフラット

であり、これは NiCd 電池の特性によくマッチしている事が判明した。

* 超越科学研究所・ワークスキッチュ
マッドサイエンス学会正会員
Laboratory of Hyper-Science
Tokyo JAPAN

ミニ4駆のコースシミュレーション

ミニ4駆にとって、コーナリングはサイドローラーがコース壁面にあたり、車を回していくことにより実現される。この時、タイヤには、横方向のずり運動が働き、結局これはシャフトへの減速トルクとして働く。また、この抵抗力は、一般的な運動体の例から、速度に比例したものと考えるのが妥当である。したがって、コースのモデルとしては、

- 1) 直線部 抵抗なし
- 2) コーナ部 速度に比例した抵抗あり

とモデル化できる。

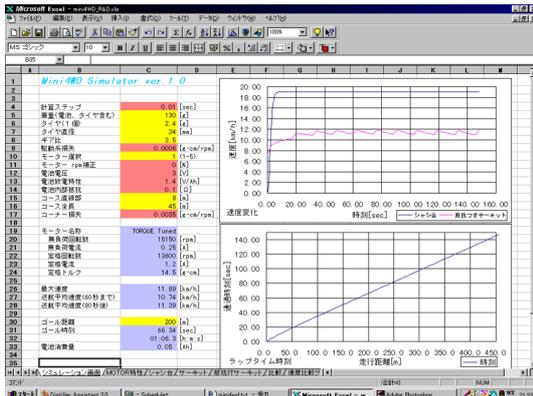


図2 シミュレータ画面

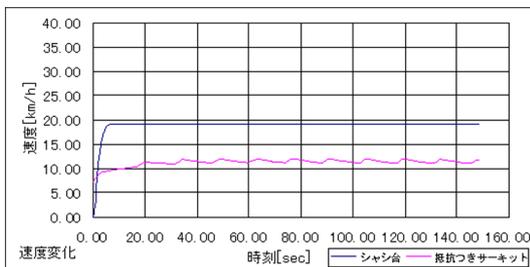


図3 トルクチューン

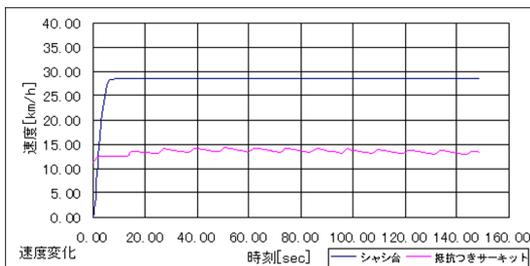


図4 マッタダッシュ

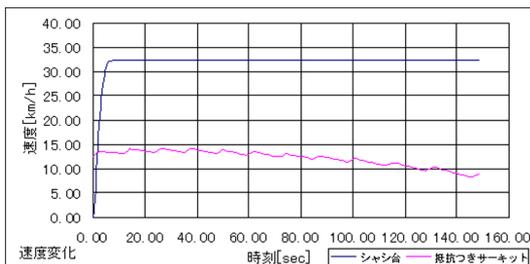


図5 ウルトラダッシュ

シミュレーションの実際

以上のことを考慮し、シミュレーションは Excel ワークシート上で行なった。実際には、これらの考察に加え、シャフト回転損失、内部抵抗や放電量によるモーター駆動電圧降下等を考慮した。コースは1周45m・直線部8mとし、これを10周した450mをゴールとした。

図2にシミュレーションのワークシート画面、図3~5に、トルクチューン、マッタダッシュ、ウルトラダッシュモーターのシミュレーション結果を示す。シミュレーションは、シャシ台でのベンチマークと、コースでの走行を行なっている。コースのスターティング方法も、前出の考察に基づいている。

この中で、トルクチューンモーターは、ミニ4駆界では傑作と思われるモーターであり、低消費電力ながらトルク特性が良く、耐久的なレースでは抜群の強さが期待できる。

一方、ベンチマークでは最速であるウルトラダッシュであるが、コースではマッタダッシュに敵わないという結果になった。レース後半のスピードに伸びが無い。これは、そのあまりに大きな消費電流に原因がある。このモーターは、マッタダッシュと同じトルクを得るためには、ほぼ2倍の電流が必要となるので、抵抗性の(つまりカーブの多い、従って一般的な)サーキットでは、いたずらに電池を消耗させるだけになってしまっている。速度特性の後半でのダレは、このことを如実に表している。しかもこの結果は、甲府GACでの風説である、「マッタダッシュが最速」というものともマッチしている。

しかしながら、この結果はコースが変わるとまた変わってくる。コースが短い場合であれば、短期ダッシュが有効なウルトラダッシュであり、さらに長距離であればトルクチューンであろう。

まとめ

ミニ4駆のコースを含めたシミュレーションを作成し、実際のコースと同様な傾向を得る事ができた。車重バランスなどのパラメータをチューンすることで、特定コースに最適なセッティングに役立てることができることも判明した。

今回のシミュレーションでは、モーターの熱ダレの影響は考慮していない。モーターに使われている磁性体のキュリー温度は200度程度であり、モーターが80度まで加熱すると出力が10~15%ダウンする。今後は、このような熱の影響も考慮したシミュレーションにも取り組んでいきたい。

当面の目標としては、このシミュレータを使い、GAC 2に勝利することである。

参考文献

- 1) MABUCHI MOTOR GENERAL CATALOGUE #12
- 2) ミニ4駆 G・U・P 完全カタログ
- 3) <http://www2r.meshnet.or.jp/~TSUKI/>
Dr. キッチュの研究室