



共通光路干渉計による高温極超音速流れ場の密度計測

第95回風洞研究会議
H31年5月30日～5月31日
航空装備研究所@立川

丹野英幸、山田健翔、山田耕史、小林万里子
(宇宙航空研究開発機構 角田宇宙センター)



Outline

- 背景
 - Motivation
 - Goal and Target
- 光学干渉計
 - 過去の干渉計
 - 候補として評価中の干渉計
- 現状
 - ピンホール干渉計 (PDI)
 - 計画中
 - Fizeau干渉計
 - 極超音速境界層内部の密度場観測
 - **Nomarski干渉計**
 - Hot-Hyper 気流中はやぶさ Capsule周りの密度場計測
- まとめ



Back ground - Motivation

- 極超音速流れ場の定量観測の需要
 - 境界層内部の擾乱構造
 - 数値計算ValidationのBenchmark
 - 試験気流の同定(密度計測) - 計測精度要求が高まってきた為
- 高精細可視化法であった二重露光ホログラフィー干渉計法はフィルムもGiant pulse laserも入手不可能

Final goal

- (極超音速) 流れ場の2次元定量(密度)計測技術のリバイバル
- 静止画でなくて動画による非定常現象観測

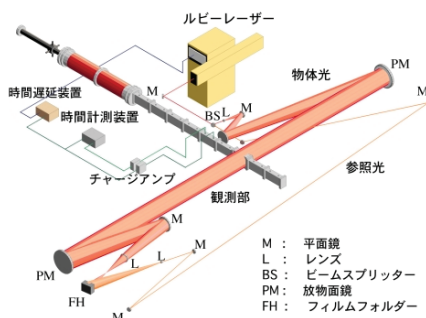
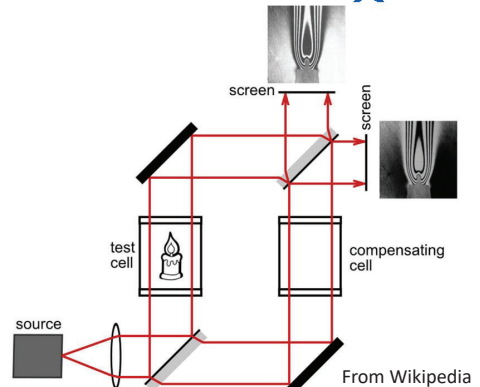
今回のTarget

- 光学干渉計による密度場の定量計測
- 光学干渉計候補の評価



過去の光学干渉計

- Mach-Zehnder干渉計
 - 大型風洞設備 (HIEST含む)には適用が困難
 - 光路長が12m以上なので、参照光・物体光のCoherenceを確保することが難しい
 - 大型ミラー、レーザー光源が大変に高価
- 二重露光(double pulse)ホログラフィー干渉計
 - ハードウェアが存在しない
 - Giant Pulseレーザー入手(修理すら)不可
 - ホログラフィーフィルム入手不可



HIEST二重露光ホログラフィー干渉計の残骸
(Giant pulse laser死亡のため放棄)

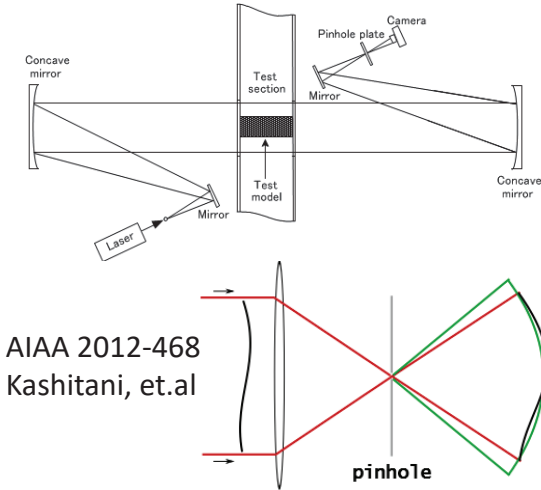


伊藤勝宏、遷音速流れに関する研究、東北大学
博士論文1988

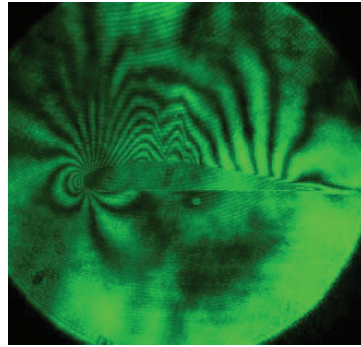


候補として評価中の干渉計

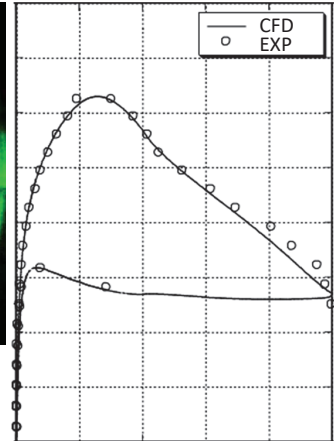
- ピンホール干渉計(防衛大 櫻谷研)一検討段階
- Fizeau干渉計 (Photron 4偏光高速カメラ)
- **Nomarski干渉計**
- **Michaelson干渉計(注:共通光路でないため参考出品)**



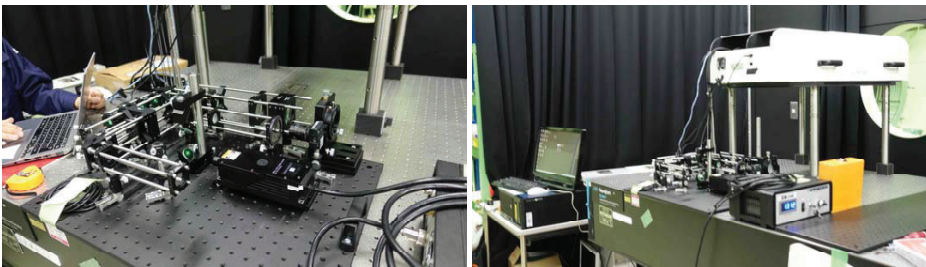
AIAA 2012-468
Kashitani, et.al



NACA 4412 Mach0.65

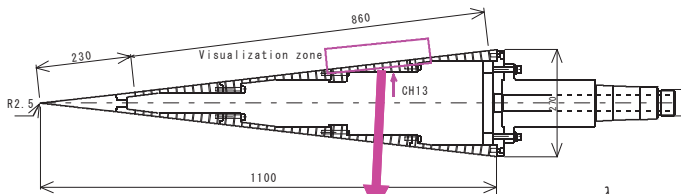


Fizeau干渉計(Photron製)



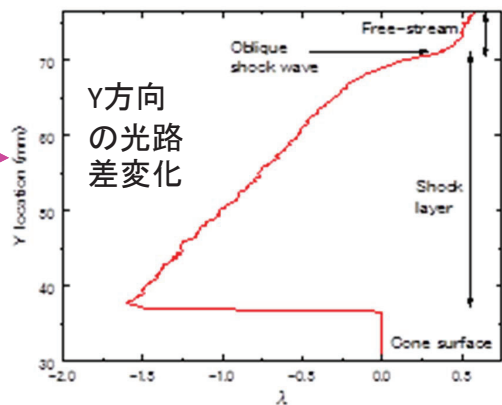
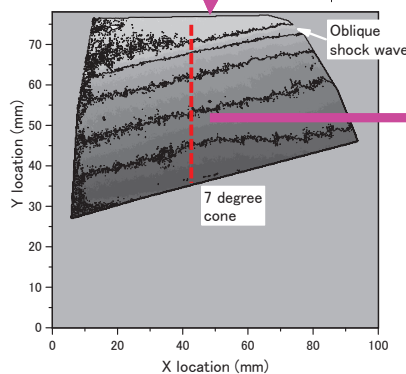
CRYSTA (価格応談)
50μsec interval
320 × 160dot

<https://www.photron.co.jp/products/polarizing-cam/crysta/>



HIEST 半頂角7度円錐
境界層の観察に適用

光路差分布
(X-Y面)



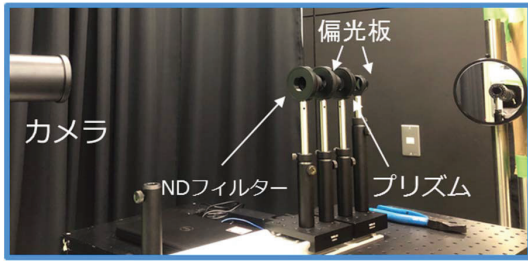


Nomarski 干渉計

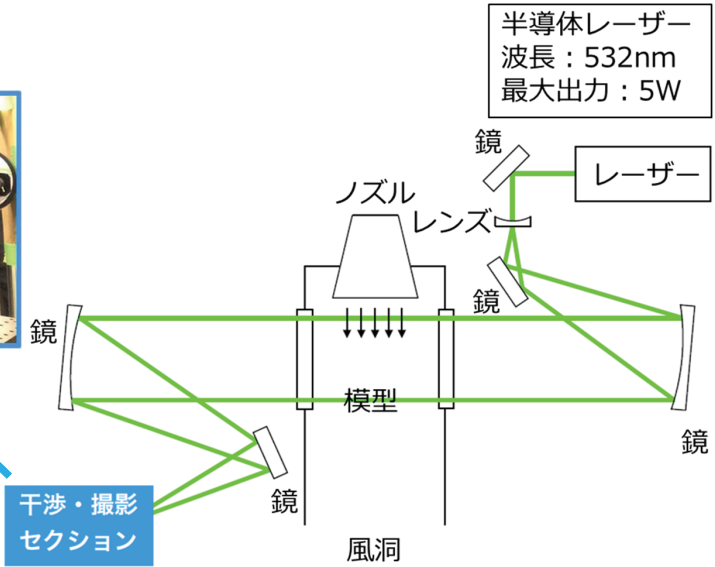
特徴

- ・共通光路干渉計の一種
- ・コヒーレント光源でなくても良い(らしい)
- ・他の干渉計に比べ光学系が単純。シュリーレン系があるならば、ナイフエッジを偏光子板2枚とWollastonプリズムに交換するだけ(簡単。安い 10万円程度)
- ・参照領域の物理量が既知ならば、高精度で流れ場の定量化が可能

・【欠点】可視化領域が狭い



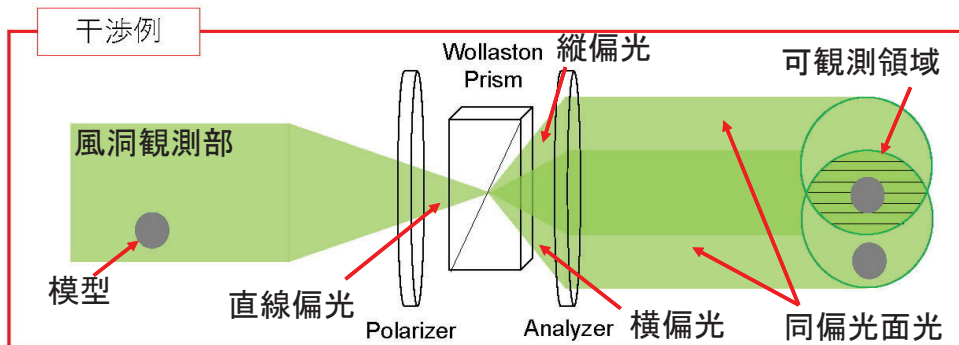
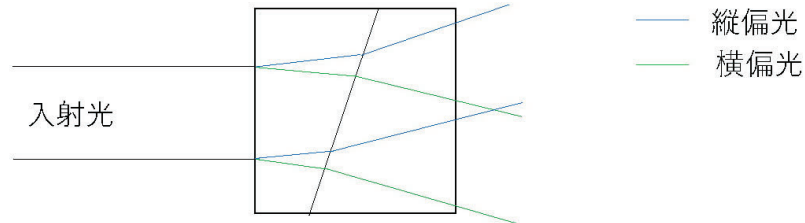
Focus point: SchlierenではKnife edgeを設置する位置



Nomarski 干渉計の原理

Wollaston Prism

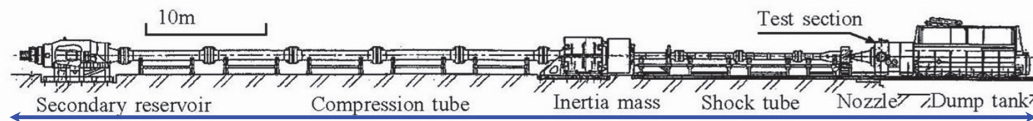
複屈折を利用した偏光子
 入射光を開き角を成す直行する2つの直線偏光に分離する
 分離した光はプリズム内を通過する速度が異なるため位相差が生じる





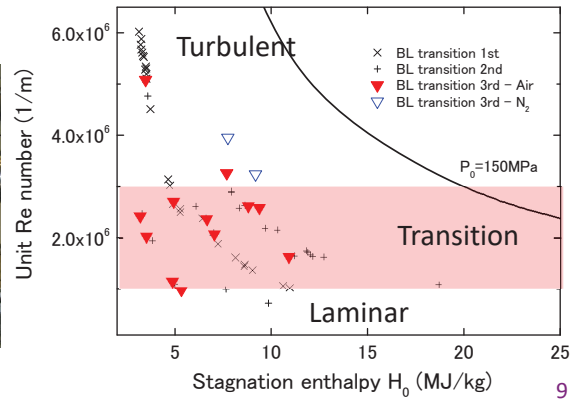
自由ピストン型衝撃風洞Hiest

- Facility over view -



HiEST Specifications

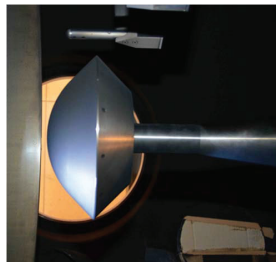
Compression tube Bore: $\phi 600$ mm, Length: 42 m Stagnation enthalpy: 3 to 25 MJ/kg
 Shock tube Bore: $\phi 180$ mm, Length: 17 m Stagnation pressure: 120 to 1500 bar
 Piston 220 to 780 kg Test time: 2 ms or longer
 Conical Nozzle: exit diameter 1.2 m
 Contoured Nozzle: exit diameter 0.8 m



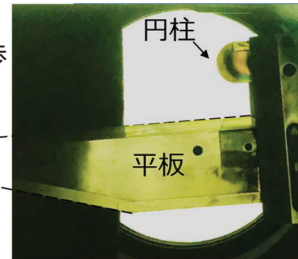
HiEST風洞試験



はやぶさSRC



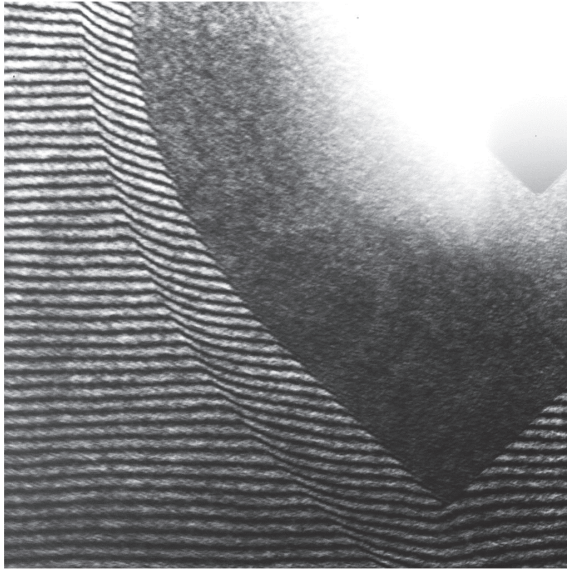
衝撃波干渉



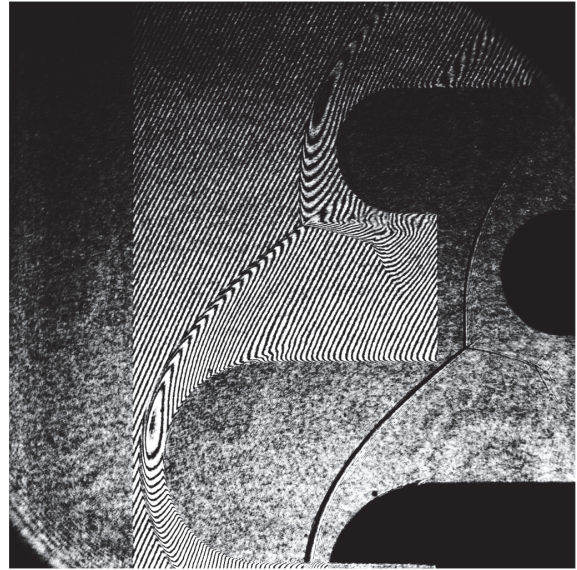
	Shot No.2812	Shot No.2852
温度(K)	1.4×10^3	6.6×10^2
圧力(kPa)	2	2.0
密度(kg/m ³)	4.8×10^{-3}	1.0×10^{-2}
速度(km/s)	4.9	3.5
マッハ数	6.2	6.7
レイノルズ数	4.6×10^5	1.1×10^6
淀み点温度(K)	7.7×10^3	4.6×10^3
淀み点圧力(MPa)	16	16
淀み点エンタルピ(MJ/kg)	16	7



Nomarski干渉計による観測例

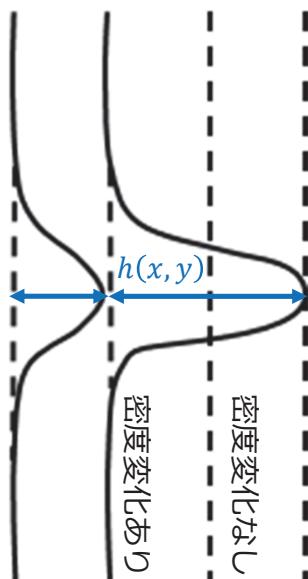


はやぶさSRC



2円柱衝撃波干渉

移動干渉縞から密度への変換

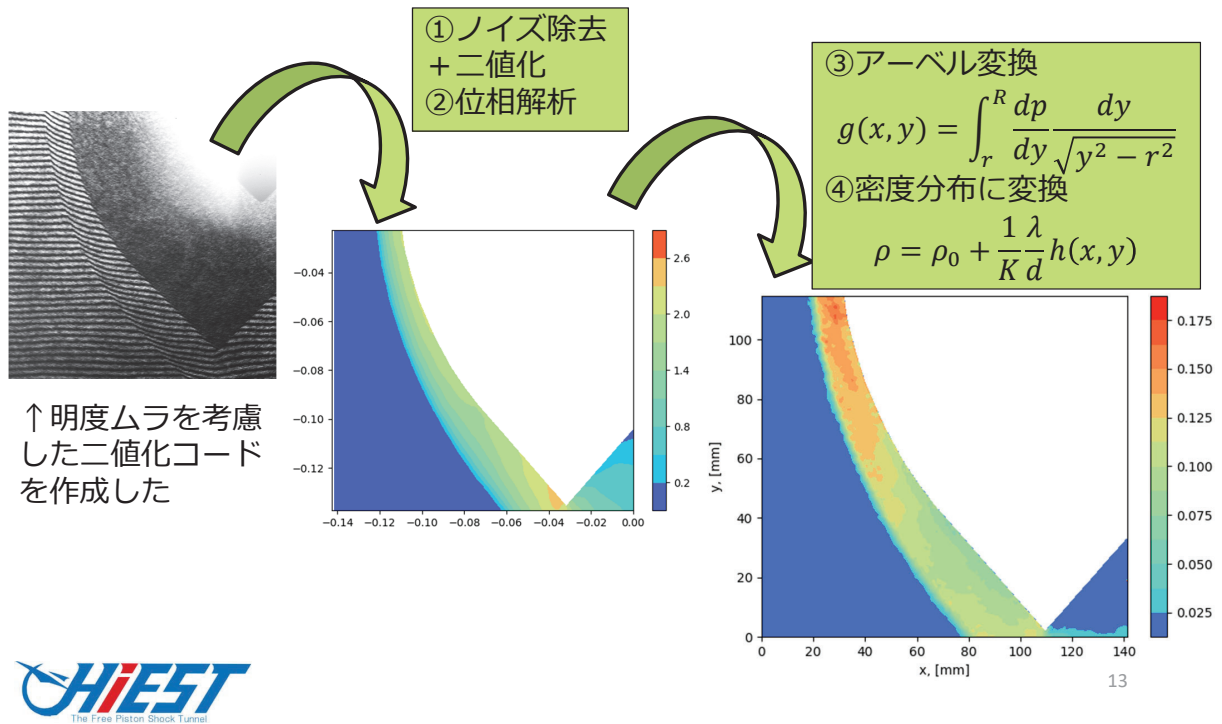


$$\rho(x,y) = \rho_0 + \frac{\lambda}{Kd} h(x,y)$$

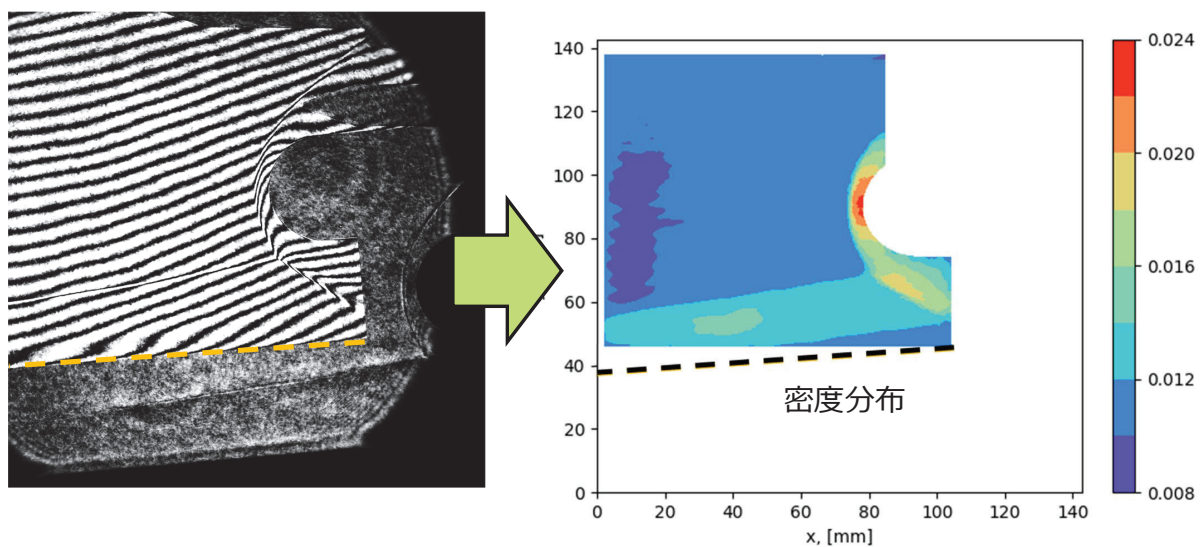
K : グラッドストーン・デール定数
 d : テストセクションの代表長さ
 λ : レーザーの波長



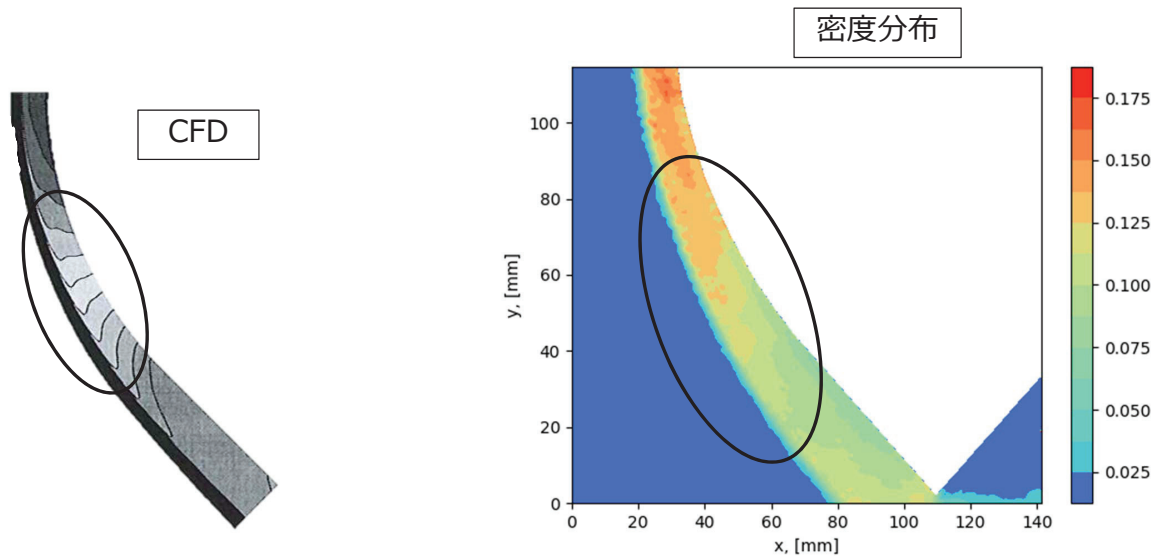
密度への変換(はやぶさSRC)



密度への変換(衝撃波干渉模型)



CFDとの比較、妥当性(はやぶさSRC)



A. Sasoh, H. Otsu, T. Abe, K. Sawada & H. Mizuno (2003).

15



現状の干渉計法の評価結論

- (1) フィゾー干渉計は悪くは無いが、現状では極めて高額。
- (2) Nomarski干渉計は、極めて低コストでの運用が可能。現状では最適
- (3) ピンホール干渉計は現在検討中
- (4) Michelson干渉計は、透過観測が使えない場合は有効。しかし、光学調整が極めて煩雑

