

# 数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics、CFD) に基づく $\mu$ -Slide y-シェイプのずり応力およびずり速度

1) 序論 .....	1
2) 数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics、CFD) の特徴 .....	1
3) 本文書を利用する：ずり応力を算出する .....	2
4) 均一な層流のずり応力の領域 .....	3
a) シングルチャンネル区画内の均一な層流の領域；100%流速 .....	3
b) ダブルチャンネル区画内の均一な層流の領域；50%流速 .....	4
5) 不均一な層流のずり応力の領域 .....	4
6) ずり応力の表 .....	7

ずり応力は、22℃における水の動的粘性率  
 $\eta = 0.01 \text{ dyne} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2 (=1 \text{ mPa} \cdot \text{sec} = 1\text{cP})$  に基づいています。

$\Phi$	流速
$\tau$	ずり応力
$\gamma$	ずり速度
$\eta$	動的粘性率 ( $\eta = 0.01 \text{ dyne} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$ )

## 1 序論

$\mu$ -Slide y-シェイプには均一な層流の領域および不均一な層流の領域があります。不均一な層流は、ミリメートル以下の小さな領域内の流速勾配によって特徴づけられます。

$\mu$ -Slide y-シェイプ内に乱流はないことに注意してください！

## 2 数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics、CFD) の特徴

CFD計算はANSYS FLUENT Flow Modeling Softwareにより行われました。パラメータは静的、等温で、層流をなし、水は圧縮しないと仮定、水の密度は $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、粘度は $0.001 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{sec})$ および与えられた質量流量 $1.001 \text{ ml}/\text{min}$ における値です。算出された値は、底から $1 \text{ }\mu\text{m}$ 離れた位置におけるものです。

### 3 本文書を利用する：ずり応力を算出する

ずり応力は、底から1 μm離れた位置において算出される流速に比例すると仮定されています。100%流速の値は、シングルチャンネルの場合の均一な層流の領域内における流速に相当する0.00024 m/secと定義されています。この領域内におけるずり応力は、流速1 ml/minでは2.274 dyne/cm<sup>2</sup>となります。別の領域内におけるずり応力を算出するには、流速をカラースケールごとに示し（例、黄色の領域については0.00018 m/sec）、次の式を使用する必要があります。

$$\tau \left[ \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} \right] = \frac{\text{velocity from color [m/sec]}}{\text{velocity 100 \% = 0.00024 m/sec}} \cdot 2.274 \frac{\text{dyne / cm}^2}{1 \text{ ml/min}} \cdot \Phi \left[ \frac{\text{ml}}{\text{min}} \right]$$

計算例：

流速：2 ml/min

領域：黄色の領域 0.00018 m/sec

$$\tau \left[ \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} \right] = \frac{0.00018 \text{ m/sec}}{0.00024 \text{ m/sec}} \cdot 2.274 \frac{\text{dyne / cm}^2}{1 \text{ ml/min}} \cdot 2 \frac{\text{ml}}{\text{min}} = 3.4 \text{ dyne / cm}^2$$

#### 4 均一な層流のずり応力の領域

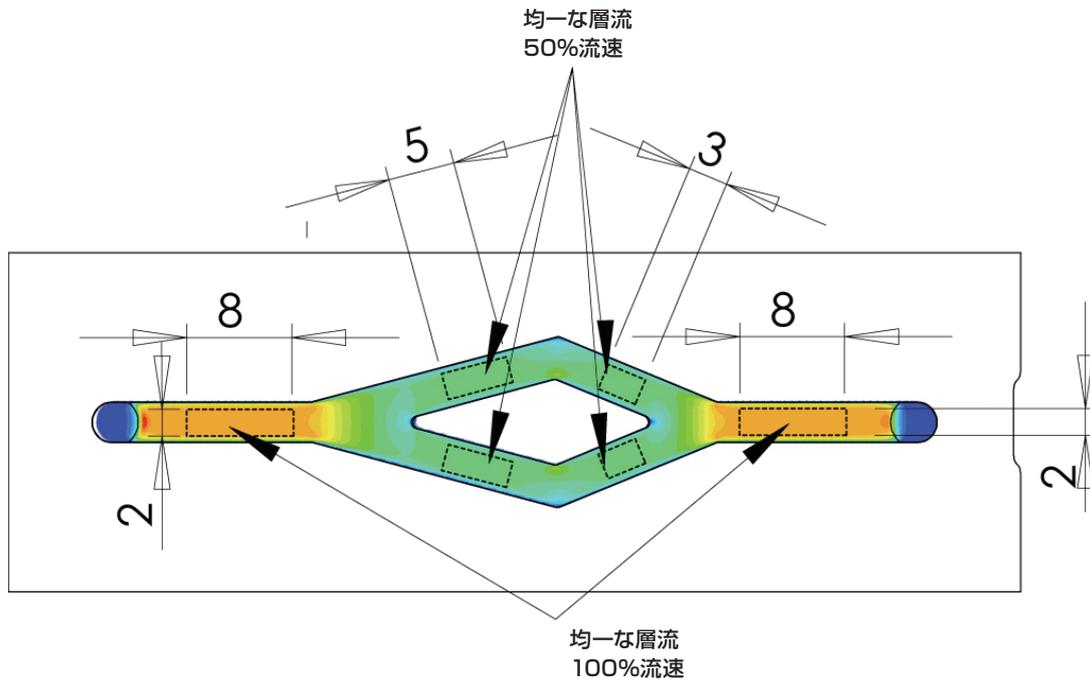
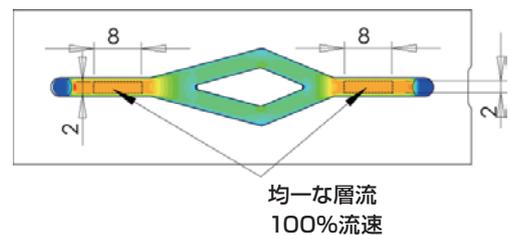


図1 :  $\mu$ -Slide y-シェイプを底から見た図。破線の長方形は均一な層流の領域を表しており、したがって、均一な層流のずり応力も表しています。分岐点間の領域 (黄色) 内における流速は、入口 (両端にある青色の大きな点) と分岐点の間の領域内における流速と比較するとちょうど半分であるため、オレンジ色の領域内における流速およびずり応力は緑色の領域内における値のちょうど2倍となります。

##### a) シングルチャンネル区画内の均一な層流の領域 ; 100%流速

粘度  $\eta = 0.01 \text{ dyne} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$  の場合

ずり応力	$\tau \left[ \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} \right] = 2.274 \Phi \left[ \frac{\text{ml}}{\text{min}} \right]$
ずり速度	$\gamma \left[ \text{sec}^{-1} \right] = 227.4 \Phi \left[ \frac{\text{ml}}{\text{min}} \right]$



[ $\text{dyne} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$ ] の単位で表される任意の粘度の場合

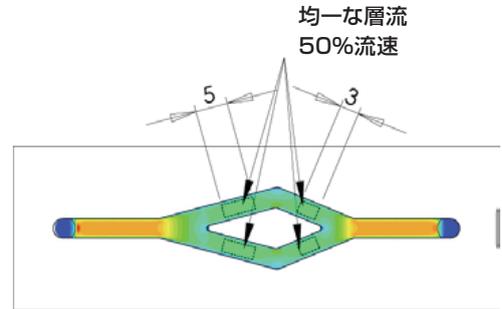
ずり応力	$\tau \left[ \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} \right] = \eta \left[ \frac{\text{dyne} \cdot \text{sec}}{\text{cm}^2} \right] \cdot 2.274 \Phi \left[ \frac{\text{ml}}{\text{min}} \right]$
------	---

b) ダブルチャンネル区画内の均一な層流の領域；50%流速

粘度  $\eta = 0.01 \text{ dyne} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$  の場合

ずり応力  $\tau \left[ \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} \right] = 1.137 \Phi \left[ \frac{\text{ml}}{\text{min}} \right]$

ずり速度  $\gamma \left[ \text{sec}^{-1} \right] = 113.7 \Phi \left[ \frac{\text{ml}}{\text{min}} \right]$



[dyne · sec/cm<sup>2</sup>]の単位で表される任意の粘度の場合

ずり応力  $\tau \left[ \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} \right] = \eta \left[ \frac{\text{dyne} \cdot \text{sec}}{\text{cm}^2} \right] \cdot 113.7 \Phi \left[ \frac{\text{ml}}{\text{min}} \right]$

## 5 不均一な層流のずり応力の領域

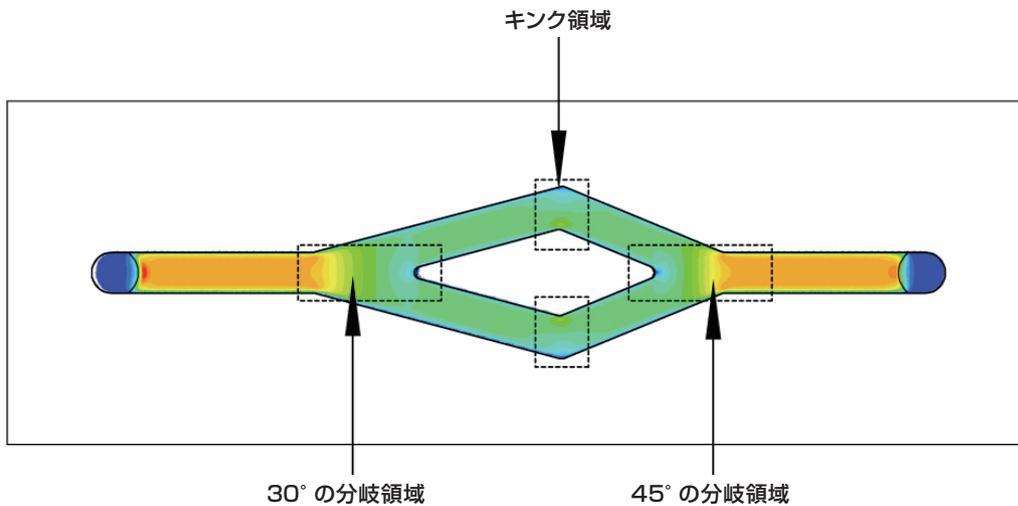


図2： $\mu$ -Slide y-シェイプを底から見た図。破線の長方形は不均一な層流の領域を表しており、したがって、不均一な層流のずり応力も表しています。3種類の領域が存在し、左側には開口角30° の分岐領域があります。右側には開口角45° の分岐領域があります。両方のキック領域は対称的です。

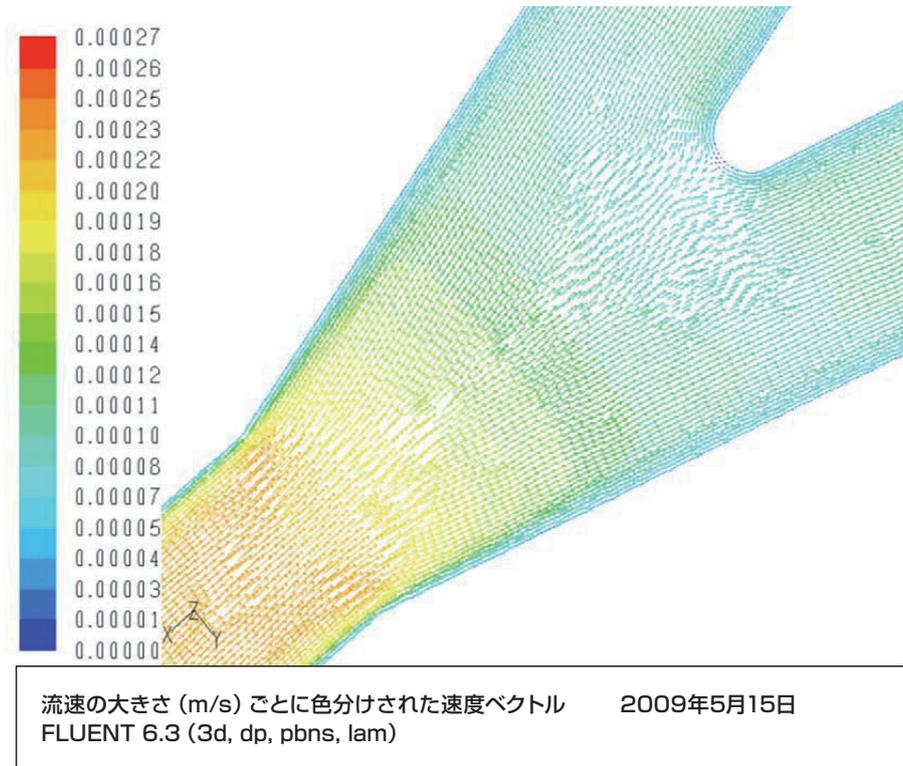


図3：30° の分岐領域に関して算出されたデータ。矢印は流れ方向を示しています。  
 カラーズケールは流速 (単位はm/sec) を示しています。

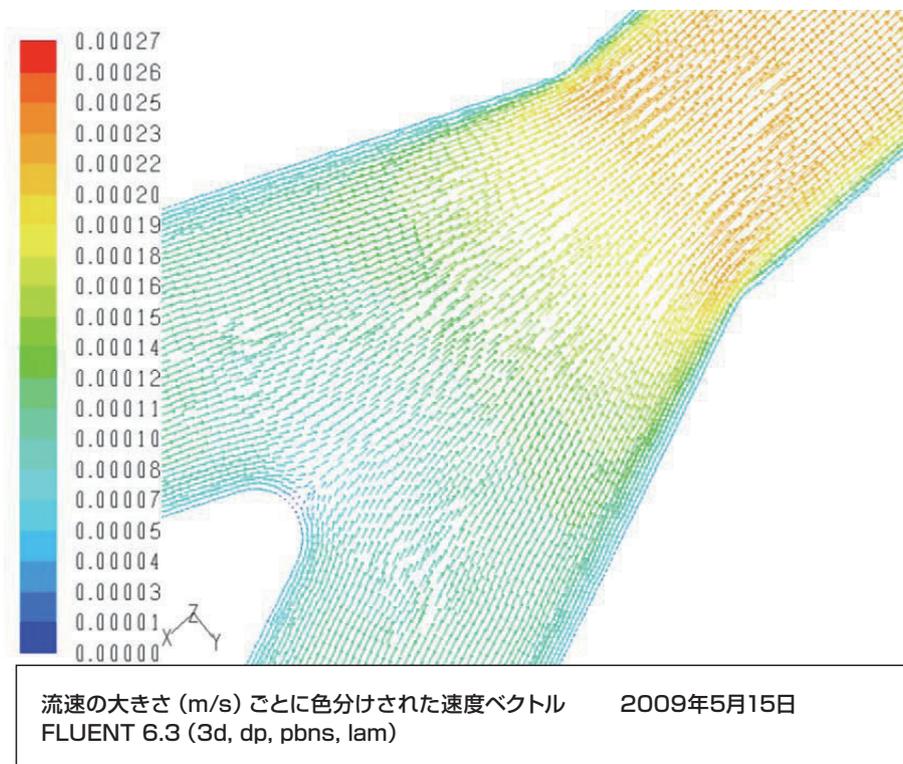


図4：45° の分岐領域に関して算出されたデータ。矢印は流れ方向を示しています。  
 カラーズケールは流速 (単位はm/sec) を示しています。

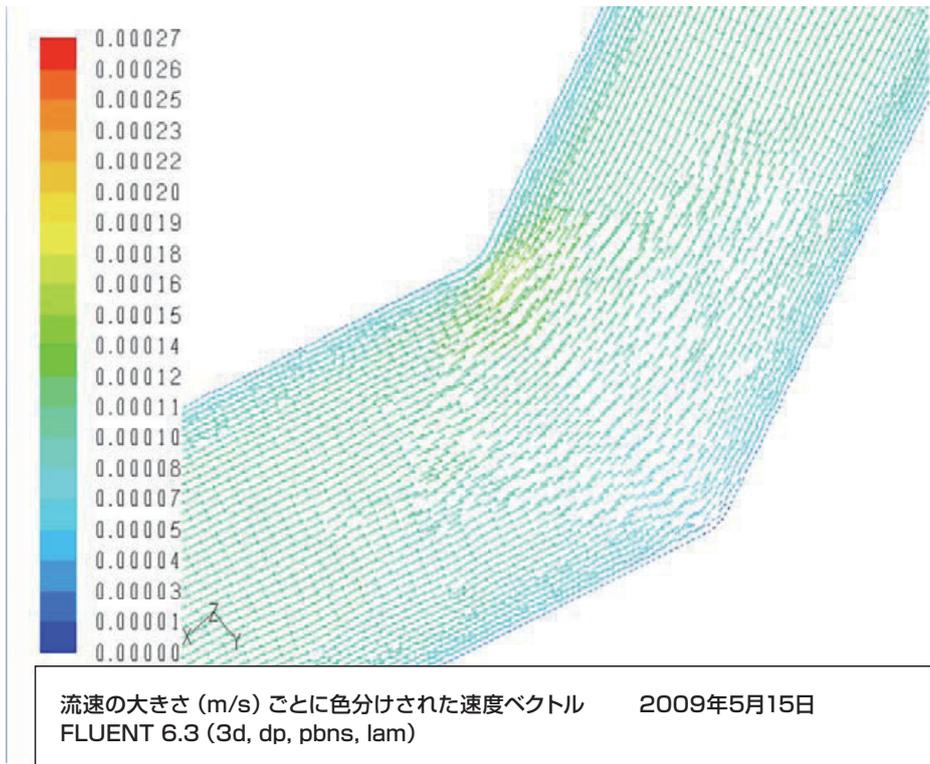
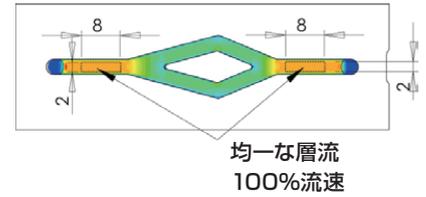


図5：45° の分岐領域に関して算出されたデータ。矢印は流れ方向を示しています。  
 カラーズケールは流速 (単位はm/sec) を示しています。

## 6 ずり応力の表

ずり応力の表 - シングルチャンネル領域、  
 $\eta = 0.01 \text{ dyne} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$  で一定流速の場合 :

$$\tau \left[ \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} \right] = 2.2744 \Phi \left[ \frac{\text{ml}}{\text{min}} \right]$$

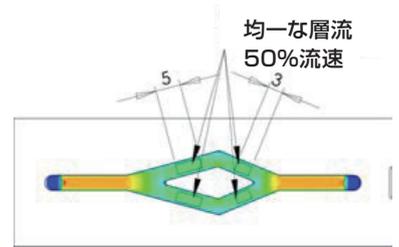


t [dyn/cm <sup>2</sup> ]	$\Phi$ [ml/min]	t [dyn/cm <sup>2</sup> ]	$\Phi$ [ml/min]	t [dyn/cm <sup>2</sup> ]	$\Phi$ [ml/min]
0,1	0,04	4	1,76	25	10,99
0,2	0,09	5	2,20	30	13,19
0,3	0,13	6	2,64	35	15,39
0,4	0,18	7	3,08	40	17,59
0,5	0,22	8	3,52	45	19,79
0,6	0,26	9	3,96	50	21,98
0,7	0,31	10	4,40	55	24,18
0,8	0,35	11	4,84	60	26,38
0,9	0,40	12	5,28	65	28,58
1,0	0,44	13	5,72	70	30,78
1,2	0,53	14	6,16	75	32,98
1,4	0,62	15	6,60	80	35,17
1,6	0,70	16	7,03	85	37,37
1,8	0,79	17	7,47	90	39,57
2,0	0,88	18	7,91	95	41,77
2,2	0,97	19	8,35	100	43,97
2,4	1,06	20	8,79	105	46,17
2,6	1,14	21	9,23	110	48,36
2,8	1,23	22	9,67	115	50,56
3,0	1,32	23	10,11	120	52,76

ずり速度の表 - シングルチャンネル領域 :

$$\gamma \left[ \text{sec}^{-1} \right] = 227.44 \Phi \left[ \frac{\text{ml}}{\text{min}} \right]$$

$\gamma$ [1/sec]	$\Phi$ [ml/min]	$\gamma$ [1/sec]	$\Phi$ [ml/min]	$\gamma$ [1/sec]	$\Phi$ [ml/min]
5	0,02	600	2,64	7000	30,78
10	0,04	700	3,08	7500	32,98
20	0,09	800	3,52	8000	35,17
30	0,13	900	3,96	8500	37,37
40	0,18	1000	4,40	9000	39,57
50	0,22	1250	5,50	9500	41,77
125	0,55	1500	6,60	10000	43,97
150	0,66	1750	7,69	10500	46,17
175	0,77	1800	7,91	11000	48,36
200	0,88	1850	8,13	11500	50,56
225	0,99	1900	8,35	12000	52,76
250	1,10	2000	8,79	12500	54,96
275	1,21	2500	10,99	13000	57,16
300	1,32	3000	13,19	13500	59,36
325	1,43	3500	15,39	14000	61,55
350	1,54	4000	17,59	14500	63,75
375	1,65	4500	19,79	15000	65,95
400	1,76	5000	21,98	15500	68,15
450	1,98	5500	24,18	16000	70,35
500	2,20	6000	26,38	16500	72,55



ずり応力の表 - ダブルチャンネル領域

$\eta = 0.01 \text{ dyne} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$  で一定流速の場合:

$$\tau \left[ \frac{\text{dyne}}{\text{cm}^2} \right] = 1.1372 \Phi \left[ \frac{\text{ml}}{\text{min}} \right]$$

t [dyn/cm <sup>2</sup> ]	$\Phi$ [ml/min]	t [dyn/cm <sup>2</sup> ]	$\Phi$ [ml/min]	t [dyn/cm <sup>2</sup> ]	$\Phi$ [ml/min]
0,1	0,09	4	3,52	25	21,98
0,2	0,18	5	4,40	30	26,38
0,3	0,26	6	5,28	35	30,78
0,4	0,35	7	6,16	40	35,17
0,5	0,44	8	7,03	45	39,57
0,6	0,53	9	7,91	50	43,97
0,7	0,62	10	8,79	55	48,36
0,8	0,70	11	9,67	60	52,76
0,9	0,79	12	10,55	65	57,16
1,0	0,88	13	11,43	70	61,55
1,2	1,06	14	12,31	75	65,95
1,4	1,23	15	13,19	80	70,35
1,6	1,41	16	14,07	85	74,74
1,8	1,58	17	14,95	90	79,14
2,0	1,76	18	15,83	95	83,54
2,2	1,93	19	16,71	100	87,94
2,4	2,11	20	17,59	105	92,33
2,6	2,29	21	18,47	110	96,73
2,8	2,46	22	19,35	115	101,13
3,0	2,64	23	20,23	120	105,52

ずり速度の表 - ダブルチャンネル領域:

$$\gamma [\text{sec}^{-1}] = 113.72 \Phi \left[ \frac{\text{ml}}{\text{min}} \right]$$

$\gamma$ [1/sec]	$\Phi$ [ml/min]	$\gamma$ [1/sec]	$\Phi$ [ml/min]	$\gamma$ [1/sec]	$\Phi$ [ml/min]
5	0,04	600	5,28	7000	61,55
10	0,09	700	6,16	7500	65,95
20	0,18	800	7,03	8000	70,35
30	0,26	900	7,91	8500	74,74
40	0,35	1000	8,79	9000	79,14
50	0,44	1250	10,99	9500	83,54
125	1,10	1500	13,19	10000	87,94
150	1,32	1750	15,39	10500	92,33
175	1,54	1800	15,83	11000	96,73
200	1,76	1850	16,27	11500	101,13
225	1,98	1900	16,71	12000	105,52
250	2,20	2000	17,59	12500	109,92
275	2,42	2500	21,98	13000	114,32
300	2,64	3000	26,38	13500	118,71
325	2,86	3500	30,78	14000	123,11
350	3,08	4000	35,17	14500	127,51
375	3,30	4500	39,57	15000	131,90
400	3,52	5000	43,97	15500	136,30
450	3,96	5500	48,36	16000	140,70
500	4,40	6000	52,76	16500	145,09